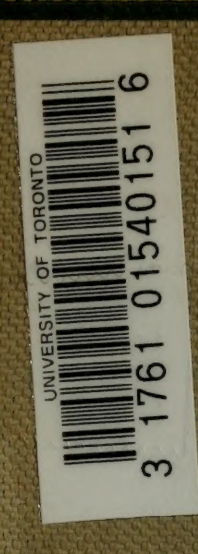
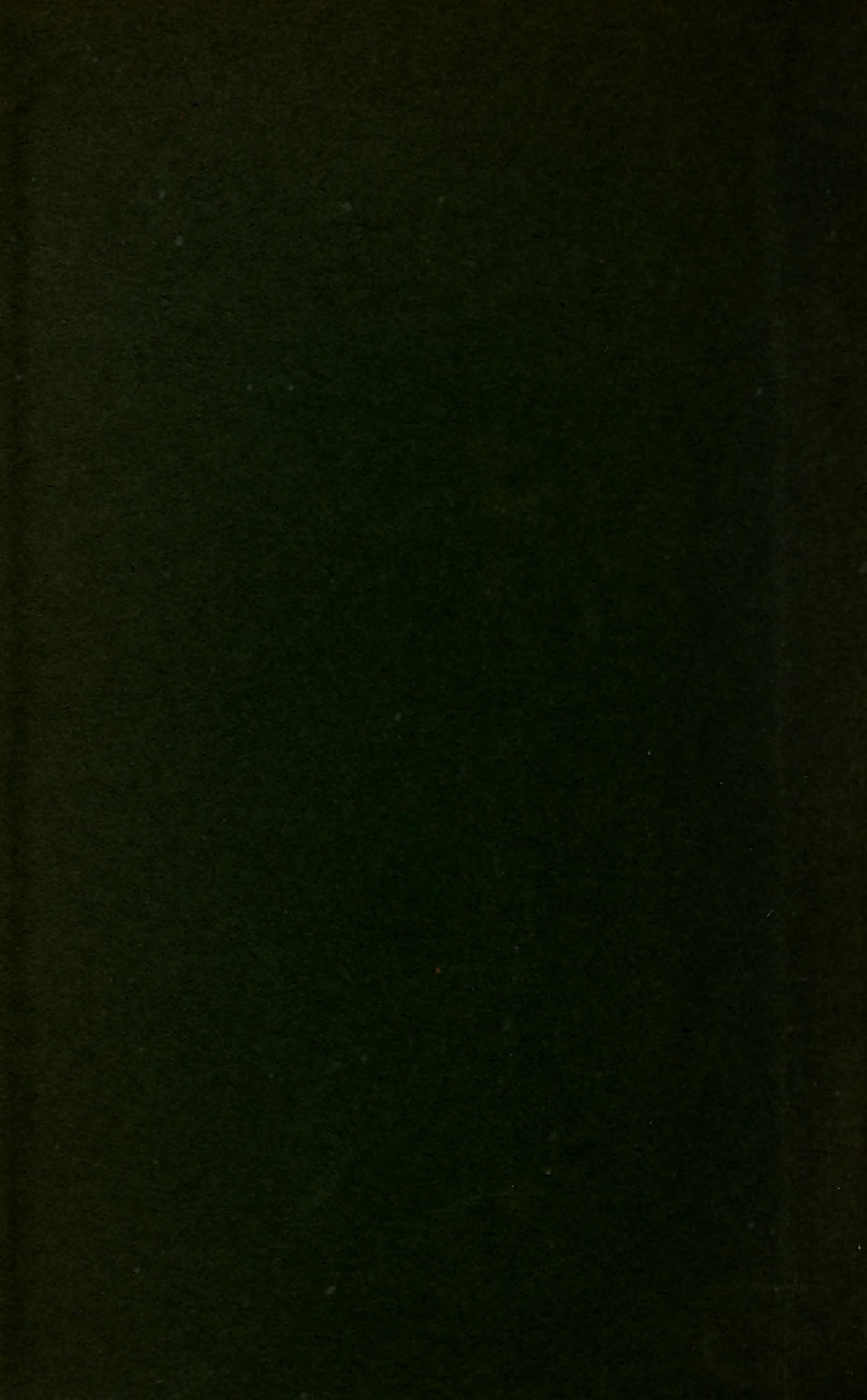


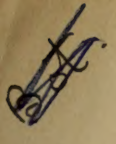
Die Krankheiten der Pflanzen

von Dr. A. B. Frank









Die

Krankheiten der Pflanzen

Ein Handbuch

für Land- und Forstwirte, Gärtner, Gartenfreunde und Botaniker

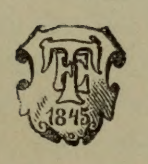
von

Dr. A. B. Frank
Professor an der Königl. landwirtschaftlichen Hochschule in Berlin

Erster Band
Die durch anorganische Einflüsse hervorgerufenen Krankheiten

Mit 34 in den Text gedruckten Holzschnitten

Zweite Auflage



Breslau
Verlag von Eduard Trewendt
1895.

Vorwort zur ersten Auflage.

Die Aufgabe des vorliegenden Buches ist, unsre Kenntnisse von den Krankheiten der Pflanzen in wissenschaftlicher Form darzustellen, also ein möglichst vollständiges Handbuch der Pflanzenpathologie zu sein nicht bloß für den Botaniker, sondern auch für alle diejenigen, welche sich praktisch mit der Kultur der Pflanzen beschäftigen.

Für alle Völker, welche Pflanzenbau treiben, und somit in erster Linie für uns Deutsche, hat notwendig die Kenntnis der Pflanzenkrankheiten ein in hohem Grade praktisches Interesse, und der Wissenschaft fällt daher auf diesem Gebiete ganz besonders die Aufgabe zu, helfend und fördernd für die wichtigsten unmittelbaren Bedürfnisse und für die allgemeine Wohlfahrt einzutreten. Es muß also Bücher geben, welche die Pflanzenkrankheiten, ihre Ursachen und die Mittel, sie zu heilen oder zu verhüten, kennen lehren.

Von den bereits vorhandenen allgemeinen Werken über Pflanzenkrankheiten unterscheidet sich das vorliegende zunächst naturgemäß durch neueren Datum und konnte daher vieles berücksichtigen, was seit der letzten derartigen Publikation — das letzte, allgemeine Werk über unsern Gegenstand, das Handbuch von Sorauer, ist 1874 erschienen — von Pflanzenkrankheiten neu aufgetreten oder genauer bekannt geworden ist. Meinem Plan gemäß soll sich aber das Buch von ähnlichen andren hinsichtlich des Stoffes auch noch unterscheiden 1. dadurch, daß es sich nicht auf einen bestimmten Kreis sogenannter Kulturpflanzen beschränkt, sondern das ganze Pflanzenreich gleichmäßig in Betracht zieht, 2. dadurch, daß es alle einzelnen Krankheitsgebiete gleichmäßig behandelt, also z. B. nicht die durch parasitische Pilze verursachten Pflanzenkrankheiten allein oder in irgend bevorzugter Weise zum Gegenstand nimmt, 3. durch möglichste Vollständigkeit auf jedem der einzelnen Krankheitsgebiete.

Was diesen Plan an sich anlangt, so bedarf er dem wissenschaftlichen Botaniker gegenüber nicht nur keiner Entschuldigung, sondern ist eigentlich der einzig korrekte Weg für ein Handbuch der Pflanzenpathologie. Denn da die letztere ein Wissensgebiet innerhalb der Botanik ist, so muß auch für sie das Pflanzenreich ein in allen seinen Teilen gleichberechtigtes Ganze sein, und mancher tiefere und umfassendere Blick würde ihr verloren gehen, wenn sie sich in willkürlich gezogenen Grenzen beschränken wollte.

Aber auch für den Praktiker hielt ich es von der größten Wichtigkeit, mich nicht auf unsre eigentlichen Kulturpflanzen zu beschränken. Es leiteten mich dabei folgende Gründe. Erstens ist eine genaue Unterscheidung von Kultur- oder Nutzpflanzen und Nichtkulturpflanzen unmöglich, wie z. B. bei den landwirtschaftlichen Futterpflanzen, insbesondere bei den zahlreichen Arten Gräser und Kräuter, welche den Bestand der Wiesen bilden und die alle hinsichtlich des Ertrages in Betracht kommen. Vom Standpunkte des Forstwirtes sind beinahe alle Holzgewächse Nutzpflanzen. Auch vermehrt sich die Zahl der Kulturpflanzen immer noch; man denke an die zum Anbau als Gespinnstpflanze empfohlene Brennessel, an die von Amerika ausgehenden Versuche, Heidelbeer- und Preißelbeersträucher im großen zu kultivieren ꝛc., und unter den Zierpflanzen nimmt in noch höherem Grade die Zahl der Kulturspezies stetig zu. Zweitens sind bereits schon mehrfach Krankheiten, die vorher nur auf wildwachsenden Pflanzen vorkamen, auf nahe verwandte Kulturpflanzen übergegangen. Dies kann jederzeit auch noch künftig geschehen, und insofern können auch Krankheiten wildwachsender Pflanzen einmal eine größere Bedeutung erlangen. Drittens kommen namentlich viele parasitäre, ansteckende Krankheiten auf Kulturpflanzen und gewissen wildwachsenden Pflanzen zugleich vor, letztere können die ersteren anstecken. Man muß daher auch das Vorkommen auf diesen kennen, um über die Krankheit genau unterrichtet zu sein und erfolgreiche Gegenmaßregeln zu finden. Übrigens sind Gelegenheiten denkbar, wo für den Praktiker auch Pflanzen, die nicht Kulturpflanzen zu sein brauchen, in Betracht kommen; wenn es sich z. B. um die Bedingungen der Vegetation überhaupt handelt, oder wenn auf schädlichen Pflanzen, wie Unkräutern, Krankheiten ausbrechen, die in diesem Falle willkommen und befördernswert sein können. Endlich habe ich auch die Krankheiten ausländischer Pflanzen berücksichtigt, weil unter den letzteren viele sind, denen wir wichtige Naturprodukte verdanken.

Der Inhalt des Buches entspricht in der Hauptsache dem Stande, den die Wissenschaft bis zum gegenwärtigen Zeitpunkte erreicht hat.

Die Pflanzenpathologie verdankt ihren jetzigen fortgeschrittenen Zustand besonders den lebhaften Forschungen, welche den Pflanzenkrankheiten erst in der neueren Zeit gewidmet wurden, seitdem die Pflanzenphysiologie, die mikroskopisch-anatomischen Untersuchungen und namentlich das Studium der Kryptogamen, besonders der Pilze, einen neuen Aufschwung genommen haben. Es haben denn auch hervorragende Leistungen ausgezeichneter Männer uns bereits über viele Pflanzenkrankheiten die klarsten Aufschlüsse gegeben. Allein die Aufgabe des Buches schien mir nicht bloß zu sein, das bis jetzt ermittelte Positive vorzuführen, sondern auch einesteils zur Erweiterung der Wissenschaft beizutragen, anderenteils die noch zu erledigenden Fragen zu bezeichnen und sie von den sicher erwiesenen Thatsachen abzugrenzen. In ersterer Beziehung wird man finden, daß mehrfach neue, bisher noch nicht oder kaum bekannte Pflanzenkrankheiten zur Kenntnis gebracht worden sind und daß auch überall da, wo die Unvollständigkeit unsrer Kenntnisse einlud und ich Gelegenheit hatte weitere Forschungen anzustellen, dies nicht versäumt worden ist, sowie daß auch allerhand Erfahrungen über Auftreten von Krankheiten, die mir durch die Güte andrer mitgeteilt wurden und die ich selbst am hiesigen Orte sowie auf Reisen machen konnte, erwähnt worden sind. Was zweitens die kritische Behandlung anlangt, so habe ich es als eine der wichtigsten Aufgaben betrachtet, Erwiesenes vom Unerwiesenen, Thatsachen von bloßen Vermutungen oder Hypothesen zu sondern. Das ist außerordentlich notwendig gerade auf dem Gebiete der Pflanzenkrankheiten, wo mehr als anderwärts dem Aberglauben, der Phantasie und dem unwissenschaftlichen Treiben der Laien Spielraum gelassen ist. Die Wissenschaft wird hier besonders bedroht durch eine Flut kleinerer Spezial-Litteratur, die unter scheinbar wissenschaftlicher Flagge mit dreisten Prätensionen auftritt, ohne nur den Schatten eines Beweises für ihre Behauptungen beizubringen, ja oft ohne nur eine Ahnung zu haben, wie man überhaupt einen solchen Beweis erbringt, weil dem Betreffenden die dazu erforderlichen Kenntnisse abgehen. Gegen diesen Unfug ist das einzig richtige Verhalten, alles Derartige mit Stillschweigen zu übergehen. Aber innerhalb der Wissenschaft gilt es, hauptsächlich die Grenzen zwischen sicher ermittelten Thatsachen und allem noch Zweifelhaften scharf zu bezeichnen und aus dem unmittelbar Beobachteten keine unberechtigten Schlüsse zu ziehen. Ich habe dies überall in der der Sache entsprechenden Weise zu thun gesucht. Sollte dieser kritische Standpunkt mitunter an Skeptizismus angestreift sein, so halte ich dies nicht sowohl im Interesse der rein wissenschaftlichen Betrachtung, sondern auch in demjenigen des Praktikers für keinen Fehler und glaube mich

sicher zu wissen, daß ich den Leser auf den festen Boden wissenschaftlich begründeter Thatsachen stelle. So schien es mir denn auch meine Pflicht zu sein, bei gewissen Krankheiten lieber kein Gegenmittel anzugeben oder ausdrücklich den Mangel eines solchen zu konstatieren, als welche zu nennen, die entweder gar nur auf der Einbildung des Volkes oder vorerst doch nur auf wissenschaftlichen Hypothesen beruhen und deren Anwendung daher vielleicht nutzlose Mühe und Kosten verursachen würde; oder ich habe wohl diesem oder jenem Mittel Aussicht auf Erfolg versprochen unter der ausdrücklichen Voraussetzung, daß gewisse noch unerwiesene Verhältnisse sich bewahrheiten sollten. Wo aber rationell begründete Mittel vorhanden sind, habe ich sie genügend bezeichnet, und nur da, wo sie aus der dargelegten Krankheitsgeschichte sich ganz von selbst ergeben, die Ergreifung der geeigneten Maßregeln dem Urteile des Lesers überlassen.

Was im übrigen die Behandlung des Themas, insbesondere die Einteilung desselben anlangt, so verweise ich auf das in der Einleitung Gesagte und bemerke nur noch, daß ich durch ein sehr vollständiges Register die Brauchbarkeit des Buches zu erhöhen gesucht habe, indem ich darin nicht nur die Namen der Krankheiten sowie der schädlichen Tiere, Pilze und andern Krankheits-Ursachen, sondern auch die Namen der Pflanzen selbst, von denen Krankheiten besprochen sind, aufgenommen habe, letzteres zu dem Zwecke, um den Benutzer in den Stand zu setzen, die ihm vielleicht unbekannte Krankheit einer ihm vorliegenden Pflanze desto leichter auffinden zu können. Über das Ganze wird man sich durch das Inhaltsverzeichnis und im Texte selbst durch die Kolumnentitel, durch die Überschriften der einzelnen Abschnitte, Kapitel, Absätze u. s. w., sowie namentlich durch die in großer Zahl angebrachten Marginalbemerkungen schnell und leicht orientieren. Die in den Text gedruckten Holzschnitte, die meist nach meinen nach der Natur angefertigten Originalzeichnungen hergestellt sind, werden zum Verständnis der Sache beitragen.

Trotz des guten Willens, die vorhandene wissenschaftliche Litteratur so vollständig wie möglich zu benutzen, könnte, da der auf die Pflanzenkrankheiten bezügliche Litteraturschatz ungemein zerstreut ist und sogar auf entlegene Wissensgebiete sich erstreckt, einzelnes mir entgangen sein, und ich würde mich jedem verbunden fühlen, der mich auf Lücken aufmerksam machen sollte. Selbstverständlich konnten die allerneuesten Publikationen nicht mehr berücksichtigt werden. Seit dem Jahre 1876 ist an der Fertigstellung des Manuskriptes gearbeitet worden. Was in den folgenden Jahren erschienen ist, ließ sich daher nicht mehr überall zur Geltung bringen. Außer kleineren Abhandlungen in Zeitschriften

bezieht sich das besonders auf Sorauer's Obstbaumkrankheiten und R. Hartig's Untersuchungen aus dem forstbotanischen Institut zu München. Diese Untersuchungen und inzwischen selbst gemachte Erfahrungen haben mich nur noch mehr in der Ansicht bestärkt, daß der Krebs der Bäume, über dessen Ursache so viel geschrieben und gestritten worden ist, eine Krankheitsform ist, welche durch eine ganze Reihe der verschiedenartigsten Ursachen bewirkt werden kann. Ich würde daher auch jetzt dieser Ansicht einen noch viel bestimmteren Ausdruck geben, als es im Buche geschehen ist. Die Wissenschaft kennt eben keinen Stillstand, und ihre stete Weiterentwickelung muß daher auch immer nach einiger Zeit unsre Anschauungen erweitern.

Schließlich sage ich allen Herren, die mich durch ihre Erfahrungen und Beobachtungen, sowie durch Mitteilungen aller Art unterstützt haben, meinen besten Dank.

Leipzig, im September 1880.

Der Verfasser.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Von der zweiten Auflage meines Handbuches der Pflanzenkrankheiten erscheint hier der erste Band, enthaltend die durch anorganische Einflüsse hervorgerufenen Krankheiten. Der zweite Band wird die durch Pilze und andere schädliche vegetabilische Organismen verursachten Krankheiten behandeln, und der dritte diejenigen, welche durch tierische Beschädiger veranlaßt werden, sowie die auf ungenau bekannten Ursachen beruhenden. Diese Trennung, welche den Hauptkategorien der natürlichen Einteilung der Pflanzenkrankheiten entspricht, dürfte zur Bequemlichkeit bei der Benutzung des Buches beitragen.

Das Bedürfnis nach einem neuen, zeitgemäßen, wissenschaftlichen Werke über die Krankheiten der Pflanzen wird nicht nur von den Praktikern, sondern auch von den Gelehrten empfunden. Zwar sind seit der ersten Auflage meines Handbuches noch andre Werke gleichen oder ähnlichen Charakters erschienen, aber auch sie sind durch die rasch weiter schreitenden Forschungen auf diesem Gebiete und durch das in der jüngsten Zeit leider vielfache Auftreten neuer Krankheiten und Beschädigungen der Kulturpflanzen überholt worden. Denn in der neueren Zeit wird den Pflanzenkrankheiten ein immer wachsendes Interesse geschenkt; fast in allen Kulturländern wird jetzt eifrig gearbeitet, um die Krankheiten der Kulturpflanzen zu verfolgen, genauer zu studieren

und zu unterscheiden, und eine Menge Versuche werden angestellt, um Gegenmittel gegen die Pflanzenkrankheiten zu probieren oder ausfindig zu machen. Aus diesen Arbeiten entspringt alljährlich eine Fülle von Litteratur, und gegenwärtig vermag nur noch derjenige, welcher sich speziell mit Pflanzenpathologie beschäftigt, diese weit zerstreuten Mitteilungen zu überschauen, zu sammeln und zu verarbeiten. Ein modernes Handbuch der Pflanzenkrankheiten hat daher namentlich die Aufgabe, die bis in die jüngste Zeit reichenden litterarischen Erscheinungen auf diesem Gebiete wissenschaftlich zusammengestellt und kritisch gesichtet dem Publikum darzubieten. Freilich werde ich diese Aufgabe vielleicht nicht vollkommen gelöst haben. Es könnte sein, daß noch Publikationen, welche in dieses weit ausgedehnte Gebiet einschlagen, existieren, die nicht unter den mir zugänglich gewesenen litterarischen Hilfsmitteln zu finden waren. Auch konnten naturgemäß die Schriften allerjüngsten Datums nicht mehr benutzt werden; es bezieht sich das namentlich auf die über das Jahr 1892 hinausreichenden Erscheinungen, da bereits im Jahre 1893 an den Abschluß des Manuskriptes gegangen werden mußte.

Der Plan des Werkes ist derselbe geblieben. Es sind wiederum die bekannten Krankheiten aller Pflanzen behandelt worden, also nicht bloß diejenigen der Kulturgewächse, sondern auch die der wildwachsenden Pflanzen, auch nicht bloß die der einheimischen Vegetation, sondern auch die in andern Ländern bekannt gewordenen Pflanzenkrankheiten. Selbstverständlich nehmen die Kulturpflanzen die hervorragendste Stelle ein; es ist dabei auf die Landwirtschaft, die Forstwirtschaft und den Gartenbau in gleichem Grade Rücksicht genommen worden. Auch sind nicht etwa gewisse Krankheitsgebiete vor andern bevorzugt worden, wie es ja bei solchen Werken leicht vorkommen kann, daß je nach der Forschungsrichtung des Verfassers bald die Krankheiten, welche durch Pilze, bald diejenigen, welche durch Tiere verursacht werden, eine größere Berücksichtigung finden; ich habe vielmehr auch in dieser neuen Auflage alle drei Hauptgebiete der Pflanzenkrankheiten in gleicher Vollständigkeit zu bearbeiten gesucht. Der Gesamtumfang hat natürlich um etwas gegen denjenigen der ersten Auflage zugenommen, wie das bei dem bedeutenden Zuwachs unsres Wissens nicht anders zu erwarten war. Manche Abschnitte sind auch von Grund aus umgearbeitet worden. Vielfach habe ich die Illustrationen vermehrt, teilweise auch durch neue ersetzt. Jeder Band erhält sein eigenes Register und wird daher völlig selbständig zu benutzen sein.

Berlin, im Oktober 1894.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
I. Abschnitt. Von den Wirkungen des Raummangels	21
II. Abschnitt. Von den Wunden	24
1. Kapitel. Störung der Lebensthätigkeiten infolge von Verwundung	25
2. Kapitel. Die Reaktionen der Pflanze gegen Verwundungen. Natürliche Schutzvorkehrungen, Heilungen und Reproduktionen an den Wunden. Wundkrankheiten	31
A. Natürliche Schutzvorkehrungen nach Verwundungen	31
I. Schutzholz und Kernholz	31
II. Sekretionen an Wunden	43
Harzfluß, Resinosis der Koniferen	45
Gummifluß oder Gummosis der Steinobstbäume	51
Gummifluß andrer Pflanzen	57
Mannafluß	59
B. Die natürlichen Heilungsprozesse	59
I. Heilung durch Wundkork	61
II. Heilung durch Callus	63
1. Verkorkender Callus als bloßer Wundverschluß	64
2. Callus an Stecklingen	68
3. Bedeckung der Wunde mit Callus, aus welchem Cambium, Rinde und Holz regeneriert werden	70
4. Ueberwallung	74
5. Verwachsung von Stämmen, Zweigen und Wurzeln mit einander	85
6. Regeneration eines Vegetationspunktes aus Callus	89
C. Reproduktionen neuer Glieder nach Verlust von Wurzeln, Stengeln oder Blättern	90
I. Ersatz der Wurzeln	90
II. Ersatz der Knospen und Zweige	91
Verhalten der krautartigen Pflanzen	91
Verhalten der Holzpflanzen	92

III. Ersatz der Blätter 100
Verhalten der krautartigen Pflanzen 100
Verhalten der Holzpflanzen 101
D. Wundkrankheiten und Wundfäule 101
I. Zersetzungserscheinungen der Wunden nicht holziger Pflanzenteile 103
II. Zersetzungserscheinungen des Holzes 106

3. Kapitel. Die Verwundungsarten 113
A. Das Aufspringen fleischiger Pflanzenteile 113
B. Abgeschnittene Pflanzenteile 114
C. Veredelung 117
D. Verstümmelung der Samen. 119
E. Verwundung der Wurzeln 121
F. Die Stamm- und Zweigverstümmelungen 124
G. Die Entrindungen der Stämme 135
1. Fremde Körper 137
2. Zeichen und Inschriften 137
3. Das Harzen 138
4. Quetschwunden 140
5. Schälen, Fegen und Nagen 141
6. Insektenfraß in der Rinde 146
H. Die Entlaubung 146
J. Blattwunden 147
K. Verwundung der Blüten 149
L. Verwundung der Früchte 149

4. Kapitel. Behandlung der Wunden 150

III. Abschnitt. Erkrankungen durch atmosphärische Einflüsse . . 154
1. Kapitel Das Licht 154
I. Verhinderung der Chlorophyllbildung durch Lichtmangel . . 154
II. Verhinderung der Kohlensäureassimilation durch Lichtmangel 156
III. Abnormitäten des Wachstums bei Lichtmangel 160
IV. Mangelhafte Ausbildung der mechanischen Gewebe bei Lichtmangel 165
V. Absterben grüner Teile bei dauernder Verdunkelung . . . 168
VI. Tödliche Wirkung intensiven Sonnenlichtes 169

2. Kapitel. Die Temperatur 171
A. Tötung durch Hitze 171
B. Wirkungen des Frostes 177
I. Das Gefrieren der Pflanzen 177
1. Eisbildung 178
2. Krümmungen 184
3. Farbenänderungen 187
II. Die Folgen des Gefrierens 188
III. Verschiedene Empfindlichkeit der Pflanzen gegen Frost . . . 195
IV. Lokale Beschädigungen durch den Frost an den Pflanzen . . 200
1. Aufziehen der Saaten durch den Frost 200
2. Dürre, mißfarbige Blattflecke. 201
3. Abfrieren der jungen Triebe und Triebspitzen bei Holzpflanzen 202
4. Erfrieren der Obstbaumblüten, weißspitzige Roggenähren . 202
5. Beschädigungen der Rinde und des Holzes der Bäume durch Frost; Rindenbrand, Frostkrebs ꝛc. 203
V. Frostschutzmittel 213

C. Störungen einzelner Lebensprozesse infolge der Ueberschreitung ihrer Temperaturgrenzen 216
1. Wachstum und Keimung 216
2. Kohlensäureassimilation und Gesamtproduktion 220
3. Wurzelthätigkeit 221
4. Ergrünung 224
5. Süßwerden der Kartoffeln in der Kälte 226
6. Frostgeschmack der Weinbeeren 227

3. Kapitel. Die Niederschläge 227
1. Regen 227
2. Hagel 228
3. Schneedruck, Eisanhang, Lawinen 230

4. Kapitel. Der Sturm 232

5. Kapitel. Der Blitzschlag 238
1. Blitzschlag in Bäume 238
2. Blitzschlag in Weinberge 243
3. Blitzschlag in Wiesen und Aecker 244

6. Kapitel. Das Feuer 245

IV. Abschnitt. Erkrankungen durch Bodeneinflüsse 245

1. Kapitel. Vertauschung des Erdbodens mit einem ungeeigneten Medium 245

2. Kapitel. Ungünstige räumliche Verhältnisse und Lagenverhältnisse des Erdbodens 249
1. Ungenügendes Bodenvolumen 249
2. Neigung der Bodenoberfläche 250
3. Zu tiefe und zu flache Lage der Saat 251
4. Verschüttung und Tiefpflanzung 254

3. Kapitel. Ungünstige physikalische Beschaffenheiten des Erdbodens 254
1. Zu große und zu geringe Festigkeit des Erdbodens . . . 254
2. Ungenügende Durchlüftung des Erdbodens 255

4. Kapitel. Ungünstige Zusammensetzung des Bodens 262

A. Der Wassermangel 262
1. Störung der Keimung 262
2. Welken 263
3. Sommerdürre, Verscheinen und Notreife des Getreides . . 266
4. Verzwergung 271

B. Ungenügende Nährstoffzufuhr 278

I. Nährstoffmangel 278
1. Organische Verbindungen als notwendige Nährstoffe . . 281
2. Stickstoff 284
3. Schwefel 285
4. Phosphor 285
5. Chlor 285
6. Silicium 286
7. Kalium 287
8. Calcium 288
9. Magnesium 289
10. Eisen 289

II. Unterbleiben der Ernährungssymbiose 291
1. Die mykorhizenbildenden Pflanzen 292
2. Die Wurzelanschwellungen bildenden Erlen, Eläagnaceen und Myricaceen 296
3. Die Wurzelknöllchen bildenden Leguminosen 297

C. Ungünstige Konzentrationsverhältnisse der Nährstoffe . . . 301

V. Abschnitt. Erkrankungen durch Einwirkung schädlicher Stoffe 305
I. Der Sauerstoff 305
II. Die Kohlensäure 307
III. Feuchtigkeitsgehalt der Luft 308
IV. Die eigentlichen Gifte 310
A. Giftige Gase 313
1. Schweflige Säure 313
2. Leuchtgas 316
3. Verschiedene andre giftige Gase 317
B. Giftige Flüssigkeiten und Lösungen giftiger Stoffe . . . 319
Anorganische Verbindungen 319
Organische Verbindungen 328

Einleitung.

I. Die Lehre von den Pflanzenkrankheiten, ihre Geschichte und Litteratur. Die Krankheiten der Pflanzen gehören ins Gebiet der Botanik; die von ihnen handelnde Wissenschaft hat sich aber mehr und mehr zu einer selbständigen Disciplin entwickelt, welche man die Pflanzenpathologie oder Phytopathologie nennt, ganz ebenso wie die Lehre von den tierischen und menschlichen Krankheiten zu einem besonderen Wissensgebiete geworden ist. Hier wie dort hat sich die Pathologie von der Physiologie, an welche sie am nächsten sich anschließt, mehr und mehr abgegrenzt, wiewohl immer die Physiologie die natürliche Grundlage der Pathologie bleiben muß und es auch keinen Pflanzenpathologen geben kann, der nicht zugleich Pflanzenphysiologe wäre.

Die Pflanzenpathologie, ihre Geschichte und Litteratur.

Man hat in der Botanik neben der eigentlichen Pathologie auch noch eine besondere Disciplin unter dem Namen Teratologie geschaffen, welche die Beschreibung der Mißbildungen oder Bildungsabweichungen, deren so vielfache am Pflanzenkörper vorkommen, zur Aufgabe hat und über welche sogar eigene Werke geschrieben worden sind. Da aber auch die Entstehung abnormer Gestalten als ein Ausdruck krankhafter Lebensthätigkeiten angesehen werden muß, deren verschiedenen physiologischen Ursachen nachzuspüren Aufgabe der Wissenschaft ist, so werden wir auch die Bildungsabweichungen mit zur Pathologie ziehen und sie an den gehörigen Stellen behandeln.

Die Aufgabe der Pflanzenpathologie ist eine dreifache. Sie soll 1. die einzelnen Pflanzenkrankheiten kennen und unterscheiden, also mit dem richtigen Namen bezeichnen lehren. Es handelt sich also hierbei um eine Beschreibung der Veränderungen, welche an der kranken Pflanze zu beobachten sind, und besonders der Merkmale oder soge-

nannten Symptome der verschiedenen Krankheiten. Mit Hilfe dieser Mittel erreichen wir also bei einer kranken Pflanze ungefähr das, was der Arzt durch die sogenannte Diagnose erzielt. 2. soll uns die Pflanzenpathologie über die Krankheitsursachen unterrichten. Sie kann diese Aufgabe in noch befriedigenderem Maße, als zur Zeit die tierische und menschliche Pathologie erfüllen, da die allermeisten Pflanzenkrankheiten nach ihren Ursachen ziemlich genau aufgeklärt sind. Diese Aufgabe würde also der Ätiologie analog sein. Und endlich 3. soll die Pflanzenpathologie die Mittel zur Bekämpfung der Pflanzenkrankheiten uns an die Hand geben. Durch diese Aufgabe gewinnt sie erst das hohe Interesse, welches der praktische Pflanzenbau, die Land- und Forstwirtschaft, sowie der Gartenbau an dieser Naturwissenschaft nehmen. Aber selbstverständlich ist sie dieser dritten Aufgabe erst nach Erfüllung der beiden erstgenannten gewachsen. Dieser Teil der Pathologie hat es also einesteils zu thun mit der Heilung schon vorhandener Pflanzenkrankheiten, soweit von einer solchen die Rede sein kann, und würde dann der Therapie entsprechen, andererseits hat er für die Verhütung der Pflanzenkrankheiten zu sorgen und wird dann zur Prophylaxis, die in Bezug auf den praktischen Pflanzenbau meistens als der wichtigste Teil der Pathologie anzusehen ist.

Historisches. Die historischen Anfänge unsrer Wissenschaft verlieren sich wie die fast aller Naturwissenschaften in das Altertum. Freilich beschränkte sich damals die Kenntnis von denselben fast nur auf die äußerliche Unterscheidung der auffallendsten und charakteristischsten Krankheitserscheinungen, wie denn z. B. schon im griechischen und römischen Altertum der Rost und der Brand am Getreide bekannt waren. Mit der Erkenntnis des Wesens und der Ursachen der Pflanzenkrankheiten konnte natürlich erst seit der Zeit der Anfang gemacht werden, wo man mit Hilfe des Mikroskopes und der Chemie genaueren Einblick in den Bau und in die Lebensvorgänge der Pflanzen gewinnen konnte, also mit dem Ende des vorigen und dem Anfange des gegenwärtigen Jahrhunderts. Nachdem die Grundlagen der Pflanzenphysiologie gelegt waren, erschienen auch die ersten wissenschaftlichen Werke über Pflanzenkrankheiten, und zwar von Unger, von Wiegmann und von Meyen in den Jahren 1833 bis 1841. Zwar tritt uns in diesen Werken eine schärfere Unterscheidung der einzelnen Krankheiten und die Bemühung, dieselben ursächlich zu erklären, entgegen; aber für das wichtige Gebiet der durch parasitische Pilze verursachten zahlreichen Pflanzenkrankheiten waren dieselben noch völlig verfehlt; der namentlich von Unger gehegte Irrtum, daß die parasitischen Pilze nicht durch eigene Keime entstehen, sondern aus einer abnormen Thätigkeit der

Zellen der Nährpflanzen selbst hervorgehen, beherrschte noch die damaligen Schriften. Eher und leichter wurden diejenigen zahlreichen Pflanzenbeschädigungen ihrem Wesen nach erkannt, welche durch Insekten veranlaßt werden, indem das Studium dieser Tiere und ihrer Lebensweise, zunächst besonders dasjenige der Forstinsekten, seit den vierziger Jahren zuerst durch Th. Hartig und Ratzeburg erfolgreich betrieben wurde. Aber die Unkenntnis, welche noch bezüglich der Entwickelungsgeschichte der parasitischen Pilze herrschte, ja überhaupt die völlige Unbekanntschaft der meisten dieser nur mikroskopisch und schwieriger auffindbaren Pflanzenfeinde hatte zur Folge, daß man die wichtigsten infektiösen Pflanzenkrankheiten und überhaupt alle, die nicht sogleich auf eine sichtbare äußere Ursache sich zurückführen ließen, als Folgen ungeeigneter Ernährung ansah und aus dem Mangel eines oder des andern Nährstoffes im Boden erklären zu müssen glaubte. Erst seitdem die Erforschung der Entwickelungsgeschichte der Pilze, insbesondere der Schmarotzerpilze, durch de Bary, zunächst durch sein Buch „Untersuchungen über die Brandpilze, Berlin 1853", in Angriff genommen worden war, verbreitete sich auch über diese Pflanzenkrankheiten mehr und mehr Licht; es folgten jetzt weitere Untersuchungen von Kühn, von Tulasne und von de Bary, denen sich bis in die neueste Zeit noch viele andere Forscher anschlossen. Durch die erfolgreichen Bemühungen so vieler Kräfte auf diesem nämlichen Gebiete wurde eine neue Periode in der Wissenschaft von den Pflanzenkrankheiten eröffnet, indem es sich jetzt erst herausstellte, daß die verbreitetsten und schädlichsten Krankheiten der Kulturpflanzen durch parasitische Organismen, die teils den Pilzen, teils dem Tierreiche, besonders den Nematoden, Milben und Insekten, angehören, hervorgerufen werden.

Bekanntwerden neuer Krankheiten.

Es ist aber für die Geschichte unserer Wissenschaft auch der bemerkenswerte Umstand von Einfluß, daß sich der Gegenstand der Pflanzenpathologie selbst noch fortwährend vergrößert. Immerfort treten neue Krankheiten an den Pflanzen hervor, die vorher noch nicht da waren oder wenigstens unsrer Beobachtung entgangen sind; so daß also auch aus diesem Grunde sich immer neuer Stoff der Forschung darbietet und die Wissenschaft wenigstens vorläufig noch gar keinen Abschluß finden kann. Während gewisse Pflanzenkrankheiten nachweislich schon im Altertum bekannt waren, läßt sich bis in die neueste Zeit das Auftreten neuer Krankheiten verfolgen. Der Traubenpilz Oïdium *Tuckeri* ist auf den Reben des europäischen Festlandes erst seit dem Jahre 1848 beobachtet worden. Die jetzt in allen kartoffelbauenden Ländern heimische Kartoffelkrankheit, welche durch den Pilz Phytophthora infestans verursacht wird, ist erst mit dem Jahre 1845 gekommen,

ohne seitdem wieder verschwunden zu sein. Die Reblaus ist in den sechziger Jahren von Amerika in Europa eingewandert und hat sich erst auf dem europäischen Weinstocke zu einem Pflanzenfeinde ersten Ranges und zu einer noch immer andauernden Gefahr für den Weinbau unseres Erdteiles entwickelt. In den achtziger Jahren brach im Altenlande in den Marschgegenden der Unterelbe eine Seuche unter den Kirschbäumen aus, von welcher der Obstbau bis dahin nichts wußte, und welche die Aussicht auf die fernere Existenz des Kirschbaumes in jenem Obstlande in Frage stellte; es war auch hier wieder ein plötzlich zu allgemeiner epidemischer Entwickelung gekommener Schmarotzerpilz, Gnomonia erythrostoma, den ich als die Ursache dieser Kirschbaumkrankheit auffand. Endlich noch in den allerletzten Jahren entdeckte ich einen neuen parasitischen Pilz der Zuckerrüben, Phoma Betae, welcher eine sehr schädliche Krankheit der Rübenpflanzen und vielfach bedeutende Rückgänge im Rübenertrage verursacht; Pilz und Krankheit sind auf einmal in den Provinzen Schlesien, Pommern, Westpreußen, Brandenburg, Sachsen und Hannover zur Kenntnis gekommen.

Litteratur. Im Folgenden zählen wir nur die allgemeinen Lehr- und Handbücher, welche sich mit dem Gesamtgebiete oder wenigstens mit einem Hauptgebiete der Pflanzenpathologie beschäftigen, nach der Altersfolge auf. Die überaus umfangreiche Spezial-Litteratur, welche in andern Werken, besonders aber in Fachschriften zerstreut ist und meist nur einzelne Pflanzenkrankheiten behandelt, ist an den einzelnen Stellen dieses Werkes, wohin sie jeweils gehört, zu finden.

Unger, Die Exantheme der Pflanzen und einige mit diesen verwandte Krankheiten der Gewächse. Wien 1833.

Wiegmann, Die Krankheiten und krankhaften Mißbildungen der Gewächse. Braunschweig 1839.

Meyen, Pflanzenpathologie. Lehre von dem krankhaften Leben und Bilden der Pflanzen. Berlin 1841.

J. Kühn, Die Krankheiten der Kulturgewächse, ihre Ursachen und Verhütung. Berlin 1858.

Ratzeburg, Die Forstinsekten. Berlin 1839—44.

Ratzeburg, Die Waldverderbnis. Berlin 1866—68.

Willkomm, Die mikroskopischen Feinde des Waldes. Dresden 1866.

Hallier, Phytopathologie. Die Krankheiten der Kulturgewächse. Leipzig 1868.

M. Masters, Vegetable Teratology. London 1869.

Moquin Tandon, Pflanzenteratologie. Deutsch v. Schauer. Berlin 1842.

Kaltenbach, Die Pflanzenfeinde aus der Klasse der Insekten. Stuttgart 1874.

Nördlinger, Die kleinen Feinde der Landwirtschaft. Stuttgart 1869.

Taschenberg, Die der Landwirtschaft schädlichen Insekten und Würmer. Leipzig 1865.

Sorauer, Handbuch der Pflanzenkrankheiten. Berlin 1874. — 2. Auflage 1886.

Frank, Die Krankheiten der Pflanzen. Breslau 1880.

R. Hartig, Wichtige Krankheiten der Waldbäume. Berlin 1874.

R. Hartig, Lehrbuch der Baumkrankheiten. Berlin 1882. — 2. Auflage 1889.

Kirchner, Die Krankheiten und Beschädigungen unserer landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Stuttgart 1890.

Ritzema-Bos, Tierische Schädlinge und Nützlinge für Ackerbau rc. Berlin 1891.

Frank und Sorauer, Pflanzenschutz. Berlin 1892.

Begriff der Krankheit.

II. Begriff der Pflanzenkrankheit. Die Bemühung, von dem Begriff Krankheit eine scharfe Definition zu geben, ist fruchtlos, weil ja Krankheit und Gesundheit Zustände bezeichnen, die ohne Grenze in einander übergehen. Immerhin verlohnt es sich näher über die Grenzen dieses Begriffes nachzudenken, um sich zu überzeugen, wie verschwommen nach allen Seiten hin derselbe namentlich im Pflanzenreiche ist.

Man muß bei der Entscheidung, ob etwas krankhaft an einer Pflanze ist oder nicht, immer von den spezifischen Merkmalen der betreffenden Pflanze ausgehen. Denn was für die eine Pflanzenart abnorm ist, kann bei einer andern Art dem normalen Zustande entsprechen, wie z. B. das Fehlen des Chlorophylls, also der grünen Farbe der Pflanze, da es ja Pflanzen giebt, bei denen Chlorophyllmangel zu den regelmäßigen natürlichen Merkmalen gehört. Als Krankheit kann also nur eine Abweichung von den normalen Zuständen der Spezies gelten. Allein die Schwierigkeit, auch in dieser Definition den Begriff Pflanzenkrankheit zu begrenzen, zeigt sich besonders aus folgenden Gründen:

Der natürliche Tod.

1. Weil jeder Pflanzenteil notwendig von selbst zu einer gewissen Zeit abstirbt und man also diesen natürlichen Tod im Alter nicht als eine Krankheit bezeichnen kann, doch aber nicht selten ganz gleiche Erscheinungen in Folge schädlicher Einwirkung eintreten können, längere oder kürzere Zeit vor dem natürlichen Tode und ihn also gewissermaßen nur beschleunigen. So tritt z. B. das Absterben des Kartoffelkrautes, wenn der Pilz der Kartoffelkrankheit erscheint, bald viel, bald nur wenig früher als im normalen Verlaufe ein, je nach der Zeit des Erscheinens des Parasiten. Kann man in diesem Falle immer noch durch das Auffinden des Parasiten das etwaige Vorliegen einer Krankheit beurteilen, so wird letzteres sehr schwer oder unmöglich, wenn andre als direkt sichtbare Ursachen, z. B. Witterungs- oder Bodenverhältnisse die Veranlassung sind.

Bei den perennierenden Pflanzen sollte man glauben, daß ein natürlicher Tod aus inneren Ursachen ausgeschlossen ist, weil bei diesen Pflanzen die Art der Vegetation eine beständige Verjüngung herbeiführt. Die perennierenden Kräuter treiben aus ihren älteren Teilen alljährlich neue Sprossungen, welche in dem Maße als jene absterben an deren Stelle treten. Und auch bei den Bäumen bildet die Cambiumschicht alljährlich neue Zellen, aus denen jedes Jahr ein neuer Holzring und eine neue Rindelage sich entwickelt, während in dem gleichen Maße das ältere Holz und die ältere Rinde aus den Lebensthätigkeiten ausscheiden, und jedes Jahr bilden sich neue Knospen, welche mit jugendlicher Kraft die Vegetation aufnehmen, und die wir deshalb auch als Stecklinge benutzen können, um daraus einen neuen, wiederum zu hohem Alter gelangenden Baum zu erziehen. Aber erfahrungsgemäß haben die Bäume doch keine unbegrenzte Lebensdauer. Ihr Tod erfolgt nicht aus inneren Ursachen, sondern regelmäßig durch äußere, in jedem Falle nachweisbare Faktoren. Es sind dies die während der langen Lebensdauer unvermeidlichen verschiedenen Gefahren, denen der Baum ausgesetzt ist, indem Sturm, Blitz, die Witterungseinflüsse, Tierfraß allmählich immer mehr Verletzungen herbeiführen, aus denen sich nach und nach tiefer gehende Zersetzungserscheinungen entwickeln müssen, und zu denen früher oder später auch parasitäre Organismen oder Saprophyten sich gesellen, welche am Werke der Zerstörung sich beteiligen. Aus diesen Beschädigungen resultieren dann notwendig auch Störungen in den Funktionen der beschädigten Teile, z. B. der Wurzelthätigkeit, der Saftleitung 2c., und diese Störungen werden ihrerseits zu weiteren Ursachen von Erkrankungen, die schließlich zum Tode führen. So ist also bei den Bäumen das natürliche Lebensende eine Folge unfehlbar sich einstellender Krankheiten, nicht aber einer eigentlichen Altersschwäche.

Verhältnis der Glieder zum Körper.

2. Weil die einzelnen Teile der Pflanze meist nicht in demjenigen innigen Abhängigkeitsverhältnis zum ganzen Pflanzenkörper stehen, wie es zwischen den Gliedern und dem ganzen Körper des Tieres der Fall ist. Während am letzteren fast jede Beschädigung oder Störung eines Organs mehr oder minder den Gesamtorganismus in Mitleidenschaft zieht, können wir bei der Pflanze einzelne Organe vom Körper trennen, z. B. Zweige vom Stamm, Blätter von den Zweigen, einzelne Teile von den Blättern, ohne daß dadurch die Lebenserscheinungen des Ganzen merklich gestört werden. Am einzelnen Blatte kann also zwar eine ausgeprägt pathologische Veränderung oder Zerstörung eintreten; für das ganze Individuum bleibt dieselbe belanglos. Das letztere selbst würde erst in dem Maße merkbar beeinflußt werden, und also als

krank bezeichnet werden dürfen, als die Zahl der Blätter, die solche Beschädigungen zeigen, größer wird.

Variationen.

3. Weil von den pathologischen Veränderungen nicht immer streng die Variationen der Pflanze zu scheiden sind, die größtenteils zu den normalen Formen der Species gehören. Manche durch Kultur erzeugte Varietäten haben indes wirklich pathologische Merkmale, d. h. solche, mit welchen eine Unterdrückung oder Beeinträchtigung normaler Lebensprozesse verbunden ist, z. B. der Blumenkohl, weil hier die Blüten verkümmern, die Varietäten mit panachierten Blättern, weil hier die Assimilationsthätigkeit des Blattes an den nicht grünen Teilen des Blattes unmöglich ist, die Varietäten mit gefüllten Blüten, weil hier die Fortpflanzungsorgane verkümmert sind, und Unfruchtbarkeit die Folge ist. Anderseits gelten uns manche durch Kultur erzeugte Varietäten ohne pathologische Merkmale so sehr als Norm, daß wir unwillkürlich geneigt sind, das Zurückschlagen auf die Zustände, welche die Species in der Wildnis zeigt, die aber auch nicht pathologisch sind, als abnorm und krankhaft zu betrachten, z. B. das Dünn-, Holzig- und Zuckerarmwerden der Möhrenwurzeln, das Steinigwerden des Kernobstes. Es könnte also vorkommen, daß man eine und dieselbe Pflanze bald für krank, bald für gesund erklärt, je nachdem man sich auf den Standpunkt des Pflanzenzüchters oder des theoretischen Botanikers stellt.

Unterschied der Symbiose vom Parasitismus.

4. Weil das Vorkommen fremder Organismen an der Pflanze nicht immer den Charakter eines schädlichen parasitären Eingriffes, sondern auch den einer gleichgültigen Beherbergung oder sogar den einer vorteilhaften Symbiose haben kann, was namentlich von den Mykorhizen der Waldbäume und von den Pilzkammern der Leguminosen gilt. Es sind nun Fälle denkbar, wo nicht ohne weiteres zu entscheiden ist, ob ein in einer Nährpflanze vorkommender Pilz oder eine durch ein Tier erzeugte Gallenbildung als etwas Pathologisches oder als eine gutartige, unschädliche Symbiose zu gelten hat. Gerade sehr viele durch Insekten erzeugte Gallen sind symbiotische Einrichtungen, welche dem gallenbewohnenden Tiere eine gesicherte Entwickelung bieten und zugleich den die Galle tragenden und ernährenden Pflanzenteil nicht nachteilig beeinflussen; nur wenn in übergroßer Menge solche Gallen an einem und demselben Pflanzenteile, z. B. auf einem Blatte sich befinden, können dieselben die Ausbildung und die Funktionen des letzteren beeinträchtigen.

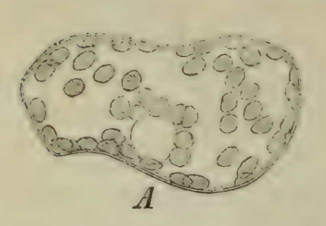
Symptome.

III. Die allgemeinen Symptome des Todes und die besonderen Krankheitssymptome. Sehr oft bestehen die Krankheiten der Pflanzen darin, daß bestimmte Teile derselben, also da alle Teile aus Zellen bestehen, bestimmte Zellen absterben. Es gilt daher ein für

alle Mal, sich bekannt zu machen mit den Merkmalen, welche als Zeichen des Todes bei den Pflanzenzellen zu betrachten sind. Aus den Veränderungen, welche die Zellen bei ihrem Tode erleiden, erklären sich auch diejenigen, welche der ganze Pflanzenteil beim Absterben zu zeigen pflegt. Die Symptome des wirklich eingetretenen Todes sind nun bei den Pflanzenzellen und somit auch am ganzen Pflanzenteile im allgemeinen immer dieselben, gleichgültig ob es sich um den zur natürlichen Zeit sich einstellenden Tod oder um das in Folge einer Krankheit eintretende Absterben handelt, und auch je nach den Krankheitsursachen sind sie nicht verschieden.

Beschaffenheit toter Pflanzenzellen.

Es läßt sich eine Reihe von Merkmalen angeben, welche allgemein bei den Pflanzenzellen Zeichen des Todes sind. Beide Bestandteile der Zelle, das Protoplasma und die Zellhaut zeigen charakteristische Veränderungen. Am deutlichsten sind dieselben an denjenigen Zellen, die eine dünne und zarte, aus Cellulose bestehende Zellhaut haben und reich an Protoplasma sind, z. B. an den Zellen der Stengelrinde, an denjenigen des Mesophylls der Blätter. Im lebenden Zustande, wie man ihn an diesen Zellen findet, sogleich nachdem sie dem Blatte entnommen und unter das Mikroskop gebracht worden sind, enthält die Zelle einen Protoplasmakörper, welcher ringsum auf der straff und faltenlos gespannten Zellmembran innen aufliegt und die Form eines Hohlsackes hat, indem nur eine verhältnismäßig dünne Schicht von Protoplasma sich auf der Innenseite der Zellmembran ausbreitet. Die von demselben eingeschlossene Höhlung des Zellenraumes ist mit wässeriger, klarer Flüssigkeit, dem Zellsafte, erfüllt. In der wandständigen Protoplasmaschicht sind aber noch andre organisirte Einschlüsse, welche Teile oder Erzeugnisse des Protoplasmas sind, zu bemerken, vor allen der Zellkern und die in großer Anzahl vorhandenen, durch ihre grüne Farbe ausgezeichneten, ungefähr linsenförmig gestalteten Chlorophyllkörner, welche in einer einfachen Lage nebeneinander in der wandständigen Protoplasmaschicht gelagert sind (Fig. 1 A). Nach diesem Typus ist auch in den meisten andern Pflanzenzellen das



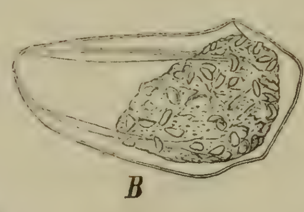


Fig. 1

Lebende und tote Zelle aus dem Mesophyll des Blattes von Senecio vulgaris, 200fach vergrößert.
A der lebende Zustand: im wandständigen Protoplasma unterhalb der Zellwand der Zellkern und die zahlreichen grünen Chlorophyllkörner. B nach Eintritt des Todes: das Protoplasma samt den Chlorophyllkörnern ꝛc. in der Zelle zusammengeschrumpft, die Zellhaut faltig.

Protoplasma gebaut; nur daß bisweilen noch Protoplasmastränge hinzukommen, welche von der wandständigen Schicht aus quer durch den Saftraum in verschiedenen Richtungen gehen. In manchen Zellen, besonders in vielen Haaren, zeigt das lebende Protoplasma Strömungen, die man sowohl innerhalb der wandständigen Schicht, als auch in den Protoplasmasträngen beobachtet. An isolirten Stücken von Mesophyllgewebe unter dem Mikroskop tritt der Tod der Zelle bald schneller, bald langsamer ein (vgl. Fig. 1). Die wandständige Protoplasmaschicht zieht sich von der Zellhaut zurück, der ganze Protoplasmakörper schrumpft zusammen, indem der Zellsaft, den er im Saftraume einschloß, aus diesem entweicht, und dafür den Raum zwischen der Zellhaut und dem sich zusammenziehenden Protoplasma einnimmt. Das im lebenden Zustande fast klare, wasserhelle Protoplasma erhält zugleich ein trübes Aussehen, indem zahlreiche kleine Körnchen in seiner Masse auftreten. So schrumpft das ganze Protoplasma zu einem unregelmäßigen Klumpen zusammen, welcher bald in der Mitte des Zellenraumes, bald mehr an einer Wand der Zelle liegt, und in welchem von nun an keinerlei Bewegung mehr wahrzunehmen ist. Der Zellkern wird bei dieser Desorganisation undeutlich, und die Chlorophyllkörner, die zwar zunächst noch an ihrer grünen Farbe zu erkennen sind, aber ebenfalls ihre regelmäßigen scharfen Umrisse etwas verlieren, werden durch die Kontraktion des Protoplasmas regellos durch einander geschoben und verlieren daher ebenfalls an Deutlichkeit. In diesen Erscheinungen müssen wir den Ausdruck einer veränderten Molekularstruktur des Protoplasmas erkennen. Letzteres hat einen Teil seines Imbibitionswassers verloren, ist wasserärmer geworden, und dies erklärt unmittelbar das geringere Volumen desselben. Die Änderung der Molekularstruktur prägt sich auch darin aus, daß die osmotischen Eigenschaften des Protoplasmas auffallend verändert sind: es ist für Flüssigkeiten permeabler geworden, denn es läßt den Zellsaft ausfiltriren. Besonders auffallend ist in dieser Beziehung auch das Verhalten zu gelösten Farbstoffen. In manchen Zellen enthält nämlich der Zellsaft einen Farbstoff aufgelöst; im lebenden Zustande nimmt das Protoplasma den Farbstoff nicht in sich auf und läßt seine Lösung nicht durch sich hindurch diffundieren. Sobald es aber getötet ist, tritt die farbige Lösung ungehindert aus dem Protoplasma und durch die Zellhaut aus, und wir sehen sogar, daß das getötete Protoplasma den Farbstoff absorbiert; der letztere sammelt sich in ihm an und zwar so, daß dasselbe viel tiefer gefärbt wird als die umgebende Flüssigkeit. Die gleiche Erscheinung tritt ein, wenn man getötete Zellen, deren Zellsaft keinen Farbstoff enthält, in eine Farbstofflösung legt. In

Folge des Wasserverlustes verschwindet auch der Turgor der Zelle; die Zellhaut ist nicht mehr straff gespannt, schlaff, mehr oder weniger faltig. Nur bei Zellen, deren Haut durch starke Verdickung oder durch einen großen Gehalt an mineralischen Bestandteilen einen hohen Grad von Festigkeit und Härte besitzt, ist natürlich im toten Zustande auch keine andre Beschaffenheit der Zellmembran zu erwarten, und man kann dann eigentlich nur nach der Beschaffenheit des Protoplasmas ein Urteil über Leben oder Tod der Zelle abgeben.

Beschaffenheit toter Pflanzenteile. Aus den Veränderungen, welche die Zellen beim Tode erleiden, resultiert unmittelbar die Beschaffenheit der ganzen Pflanzenteile, deren Zellen getötet sind. Es erklärt sich daher, warum die saftreicheren krautartigen oder fleischigen Pflanzenteile beim Absterben schlaff und welk, beziehentlich so weich werden, daß man den Saft leicht aus ihnen ausdrücken kann. Sehr bald treten dann noch weitere Veränderungen ein, die bereits als Zersetzungserscheinungen der toten organischen Substanz zu betrachten sind. Zu diesen muß man schon die häufigen Farbenveränderungen toter Pflanzenteile rechnen; das Braun- oder Schwarzwerden derselben beruht darauf, daß das tote Protoplasma und oft auch die Zellhaut sich mehr oder weniger tief bräunen. Was dies für Farbstoffe sind und wie sie entstehen, ist keineswegs befriedigend erkannt; vielfach sieht man sie für Humifikationsprodukte an, weil ja regelmäßig bei jeder natürlichen Zersetzung von Pflanzenresten aus den vegetabilischen Verbindungen solche durch braune oder schwarze Farbe ausgezeichnete Humusstoffe entstehen; oft mögen aber auch Gerbstoffe, welche in der lebenden Zelle schon vorhanden waren oder bei ihrem Tode entstehen und beim Absterben in Protoplasma und Zellhaut eindringen, wenn sie mit dem Sauerstoff der Luft in Berührung kommen, zu solchen Farbenveränderungen Veranlassung geben. Auf die weiteren Veränderungen, welche tote Pflanzenteile erleiden, hat auch die Beschaffenheit der Umgebung, in welcher sie sich befinden, einen großen Einfluß. An freier Luft und wenn die letztere einigermaßen trocken und der Pflanzenteil selbst nicht ungewöhnlich saftreich ist, tritt meist ein rasches Vertrocknen desselben, gewöhnlich unter brauner oder schwarzer Verfärbung ein, wie gewöhnlich an Blättern oder krautigen Teilen überhaupt. Pflanzenteile von großem Saftgehalte, wie die saftigen Früchte, gehen meist auch an der Luft mehr oder weniger in eine jauchige Fäulnis über, und dieselbe ist besonders auch bei allen in feuchtem Erdboden befindlichen absterbenden Pflanzenteilen zu beobachten, um so mehr, je saftreicher sie sind, wie bei Zwiebeln, Knollen, Rüben, dicken Wurzeln &c.

Krankheitssymptome.

Außer den allgemeinen, regelmäßigen Todessymptomen kann man aber auch noch besondere, für die einzelnen Krankheiten charakteristische Symptome unterscheiden. Diese beziehen sich vor allem darauf, an welchen Teilen der Pflanzen die Beschädigungen wahrgenommen werden, in welchem Alter dieselben, in welchem Umfange und in welcher räumlichen Verteilung an denselben sie sich zeigen. So reden wir also von Krankheiten, die an den Wurzeln oder an andern unterirdischen Organen auftreten, oder von solchen der Stengel oder der Blätter, oder der Blüte oder endlich der Früchte oder Samen. Und an Stengeln und Blättern wiederum kann sich die Krankheit bald in einer Zerstörung der jugendlichen Zustände, bald in einer Beschädigung der erwachsenen Teile und dann wiederum in deren Totalität oder nur an gewissen kleinen Stellen, als sogenannte Fleckenkrankheiten auf Stengeln, Blättern oder Früchten äußern, wobei das allgemeine Todessymptom als ein Vertrocknen oder als eine Fäulnis sich zeigen kann. Besondere Krankheitssymptome ergeben sich auch, je nachdem das Wesen der Krankheit in der Störung dieses oder jenes Lebensprozesses bestand. Liegt z. B. ein Einfluß vor, durch welchen die Erzeugung des grünen Chlorophyllfarbstoffes verhindert oder die Zerstörung dieses Farbstoffes bedingt wird, so ist eine gelbe oder bleiche Farbe anstatt des normalen Grüns ein Symptom der Krankheit. Oder liegt ein Einfluß vor, welcher das Wachstum und die Gestaltbildung eines Pflanzenteiles verändert, so werden aus den abnormen Gestaltsverhältnissen auffallende besondere Symptome sich ergeben. Aber auch von jedem dieser besonderen Krankheitssymptome gilt bis zu einem gewissen Grade das Nämliche, wie von den allgemeinen Todeskennzeichen: es kann durch verschiedene Krankheitsursachen bedingt werden; man darf also nicht ohne weiteres aus den gleichen Symptomen auf dieselbe Ursache schließen. Fäulnisprozesse können die Folge sein von Tötung durch Verwundung oder durch ungünstige Temperaturverhältnisse oder durch Erstickung bei ungenügender Zufuhr sauerstoffhaltiger Luft oder durch Schmarotzerpilze, welche sich in dem Pflanzenteile angesiedelt hatten. Gelbsucht, also das Unterbleiben der Chlorophyllbildung, beziehentlich die vorzeitige Zerstörung des gebildeten Chlorophylls, wobei normal grüne Teile gelb aussehen, kann eintreten bei Lichtmangel, aber auch bei ungünstigen Temperaturverhältnissen, ferner bei ungenügender Ernährung, nämlich wenn Eisen unter den Nährstoffen fehlt, oder wenn in Folge von stagnierender Nässe oder Undurchlässigkeit des Bodens für Luft die Wurzeln erkranken, desgleichen auch oft wenn die Pflanze in Folge von Dürre vorzeitig dahinsiecht, endlich ist es das hauptsächliche Symptom beim Auftreten gewisser Schmarotzerpilze und einiger para-

sitischer Tiere. Fleckenkrankheiten, d. h. gebräunte, vertrocknete Blattflecken können das Zeichen verschiedenartiger pathogener Einflüsse sein, sie rühren bald von Ernährungsanomalien, bald von Frostwirkungen, bald von Verletzungen durch kleine Tiere her und werden endlich durch eine große Anzahl verschiedenartiger Schmarotzerpilze verursacht.

Krankheitsursachen. — Die nächsten Veranlassungen.

IV. Krankheitsursachen. Wenn man die Verrichtungen der einzelnen Organe im Dienste der ganzen Pflanze kennt, so läßt sich auch ohne weiteres sagen, welche Störung eintreten muß, sobald dieses oder jenes Organ der Pflanze beschädigt ist. Sind z. B. die Wurzeln ganz oder teilweise zerstört, oder hören sie zu funktionieren auf, weil sie erkrankt sind, so ist ein Welkwerden und Vertrocknen der Stengel und Blätter zu erwarten, weil die Wurzeln für die Erwerbung derjenigen Wasserquantitäten sorgen, welche zum Ersatze des durch die Verdunstung der Blätter in Dampfform an die Luft abgegebenen Wassers der Pflanze gebraucht werden. Wenn das System der Gefäßbündel der Pflanze, insbesondere der Holzkörper in seiner Kontinuität innerhalb des Pflanzenkörpers unterbrochen ist, so kann über die Unterbrechungsstelle hinaus die Beförderung des Wassers nach oben verhindert werden und ein Verwelken und Vertrocknen der oberhalb dieser Stelle befindlichen Teile eintreten, weil eben vorzugsweise die Gefäßröhren, welche in den Gefäßbündeln und speziell im Holzkörper vorhanden sind, die Bahn des aufsteigenden Wasserstromes darstellen. Hat die Pflanze die grünen Blätter in Folge von Verwundungen verloren oder sind dieselben durch eine anderweitige Ursache verdorben, so hört von dieser Zeit an jede weitere Produktion der Pflanze auf, so lange als nicht neue gesunde grüne Blätter gebildet sind; die Körnerfrüchte, das Obst und überhaupt alle Früchte können dann keine Ausbildung weiter erreichen; die Holzpflanzen bleiben dann auf einem schwächeren Grade der Holzbildung stehen; die Kartoffelpflanze gelangt dann zu keiner weiteren Knollenbildung, die Rübenpflanze hört mit dem weiteren Wachstum des Rübenkörpers und mit der ferneren Zuckerbildung auf. Das erklärt sich eben aus der Rolle, welche das grüne Blatt im Leben der Pflanze spielt, welche darin besteht, Kohlensäure aus der Luft aufzunehmen und dieselbe nebst Wasser unter dem Einflusse des Lichtes zu kohlenstoffhaltiger organischer Substanz zu verarbeiten; denn all' das kohlenstoffhaltige Material, welches zur Herstellung jener Pflanzenprodukte gebraucht wird, wird in den grünen Blättern aus der Kohlensäure der Luft erzeugt und von den Blättern aus nach den Verbrauchsorten hingeleitet. Bei einer Pflanze, deren Blüten verkümmert sind, oder welche zwar Blüten bildet, aber die Geschlechtsorgane in denselben nicht zur normalen Entwickelung bringt, ist Unfruchtbarkeit, also Unter-

bleiben der Samenbildung die Folge; denn wir wissen, daß zu letzterer das Zusammenwirken der Geschlechtsorgane der Blüten, nämlich der Samenknospen und des Blütenstaubes eine notwendige Bedingung ist.

Aber mit dieser Aufdeckung der nächsten Veranlassung einer Pflanzenkrankheit ist das Ziel der Forschung noch lange nicht erreicht. Dieses besteht nun auch noch darin, die eigentliche Ursache aufzusuchen, weshalb das betreffende Organ der Pflanze zerstört ist oder seinen Dienst versagt.

Die eigentlichen Krankheitsursachen.

Bei der Nachforschung nach diesen eigentlichen Krankheitsursachen ist es nun durchaus logisch, daß wir nach einem äußern Faktor suchen, auf welchen die vorhandene Störung zurückzuführen ist. In der That läßt sich bei den Pflanzenkrankheiten auch gewöhnlich ein solcher außerhalb der Pflanze liegender schädlich wirkender Faktor als die wahre Ursache leicht auffinden: bald stellt sich ein solcher unzweifelhaft unter den verschiedenen Einwirkungen heraus, denen die Pflanze hinsichtlich der anorganischen Naturkräfte ausgesetzt war, z. B. in Bezug auf die Temperatur, oder auf die Beleuchtungsverhältnisse oder hinsichtlich der Beschaffenheit des Erdbodens oder der Luft, bald wird ein fremdes Lebewesen, ein Parasit aus dem Pflanzen- oder Tierreiche als die Krankheitsursache bestimmt nachgewiesen. Nun ist in der Regel auch von allen derartigen schädlichen Faktoren bekannt, daß sie allein hinreichen, um die Krankheit zu erklären; wir können beliebig jede gesunde Pflanze krank machen, sobald wir sie einem dieser Faktoren aussetzen beziehentlich sie künstlich mit einem der betreffenden Parasiten infizieren.

Befördernde Nebenumstände außerhalb der Pflanze.

Aber es dürfen bei der Erklärung der Krankheitsursachen auch die befördernden Nebenumstände nicht vergessen werden, die in manchen Fällen an dem Eintreten der Krankheit einen wesentlichen Anteil haben. Diese können nun entweder auch außerhalb der Pflanze liegen. Viele Krankheiten, bei denen parasitische Pilze die Ursache sind, werden durch Feuchtigkeit in ihrer Ausbreitung außerordentlich begünstigt; auf feuchtem Boden, in Lagen mit häufigen Nebelbildungen, bei andauerndem Regenwetter werden die Pflanzen viel mehr von den Pilzen aus den Abteilungen der Ustilagineen, Uredinaceen, Peronosporaceen &c. befallen als unter trockeneren Verhältnissen, weil die Erzeugung der Sporen dieser Schmarotzer, ihre Keimung und das Eindringen der Keimlinge derselben in die Nährpflanze durch Feuchtigkeit sehr befördert wird. Ist ein parasitischer Pilz einmal in seine Nährpflanze eingedrungen, so kann das inficierte Individuum, wenn es sich rasch und kräftig entwickelt, den Parasiten in seiner Entwickelung überflügeln und dadurch den schädlichen Einwirkungen des letzteren

noch mehr oder weniger entgehen und leidlich gesund bleiben, während umgekehrt der Parasit die Oberhand in der Pflanze gewinnen und die letztere überwältigen kann, wenn diese in ihrer Entwickelung sehr gehemmt wird, also z. B. wenn sie in eine lange Trockenheitsperiode kommt oder auf einem Boden wächst, der schon, wenn kürzere Zeit die Niederschläge ausbleiben, an Wassermangel leidet. Auch bei den durch Insekten verursachten Pflanzenbeschädigungen spielt die Witterung eine ganz außerordentlich wichtige Rolle. Überhaupt hängt schon das numerische Auftreten der Insekten bedeutend von der Witterung ab: in Jahren mit reichlichen Niederschlägen und geringerer Wärme erscheinen sie im allgemeinen nicht in großer Anzahl, während in ausnehmend trockenen und heißen Sommern Insektenarten, welche sonst in den betreffenden Kulturen nie beobachtet werden, großartige Beschädigungen veranlassen können. Dazu kommt noch, daß die Angriffe solcher Insekten, namentlich der Milben, Läuse und Cicaden gerade bei Trockenheit und Hitze um deswillen heftiger werden, weil sie nicht allein auf das Nahrungsbedürfnis, sondern auch besonders auf die Begierde nach Stillung des Durstes zurückzuführen sind, und weil bei solchen Witterungsverhältnissen gerade die Pflanze selbst Wassermangel leidet und in ihrer Entwickelung so gehemmt ist, daß sie wiederum dem Parasiten gegenüber als der schwächere Teil sich erweist. So ist es denn eine ziemlich feststehende Erfahrung, daß in nassen Jahren die Pilzkrankheiten, in trocknen Jahren die Insektenbeschädigungen an unsern Kulturpflanzen vorwalten.

Befördernde Nebenumstände in der Pflanze selbst.

Es giebt aber auch krankheitbefördernde Nebenumstände, welche in der Pflanze selbst liegen. Offenbar wird es auch auf die Beschaffenheit der Pflanze ankommen, ob und in welchem Grade sie schädlichen Einflüssen zu trotzen vermag. Die Eigenschaften der Zellen und der Gewebe des Pflanzenkörpers und der Zustand, in welchem sich dieselben je nach Entwickelungszustand und Alter befinden, also z. B. der Saftgehalt, die Dicke der Zellhäute, vielleicht auch die verschiedenen Stoffe, welche im Innern der Zelle enthalten sind, dürfen nicht als gleichgültig angesehen werden, wenn es sich darum handelt, wie leicht z. B. die Pflanze dem Frost erliegt, wie sehr sie Trockenheit verträgt, wie leicht sie von parasitischen Pilzen befallen und beschädigt wird. In dieser Beziehung hat uns ja auch die Erfahrung gelehrt, daß sogar Pflanzenformen von sehr naher Verwandtschaft, wie die einzelnen Varietäten und Sorten einer und derselben Species bestimmten Krankheitsursachen gegenüber sehr ungleich empfindlich sind. So kennen wir z. B. frostharte und frostempfindliche Sorten besonders bei den Obstbäumen. So giebt es ferner z. B. gewisse Kartoffelsorten, welche weniger als

andre von dem Pilze der Kartoffelkrankheit angegriffen werden. So ist es auch eine bekannte Thatsache, daß Sommerroggen überaus leicht und stark vom Getreiderost befallen wird, während gleichzeitig daneben wachsender Winterroggen und andres Getreide völlig rostfrei bleiben kann. Die Reblaus ist bekanntlich nur für den europäischen Weinstock hochgradig gefährlich, für die amerikanischen Rebenarten weit weniger. Solcher Beispiele ließen sich noch sehr viele anführen. Wenn wir auch nicht in allen diesen Fällen schon jetzt genaue Rechenschaft darüber geben können, in welchen Momenten die ungleiche Widerstandsfähigkeit begründet ist, so ist doch unzweifelhaft bewiesen, daß eine solche wirklich besteht, daß man also in diesem Sinne allerdings mit Recht von einer Prädisposition gewisser Pflanzen für eine Krankheit reden kann. Will man damit nur aussprechen, daß gewisse Arten oder Varietäten und Sorten vermöge ihrer natürlichen, an und für sich gesunden Eigenschaften den Angriffen gewisser Krankheitsursachen weniger leicht widerstehen können als Pflanzen mit andern natürlichen Eigenschaften, so ist dagegen nichts einzuwenden. Man kann auch noch weiter gehen und sagen, daß man die Pflanzen durch gewisse Verhältnisse, in denen man sie wachsen läßt, verzärteln kann, so daß sie dann gewissen Einflüssen weniger zu trotzen vermögen. Pflanzen, die z. B. in geschlossenen Räumen mit feuchter, unbewegter Luft und mit schwacher Beleuchtung gewachsen sind, erliegen, in freie, trocknere, bewegte Luft gebracht, sehr leicht den ungewohnten Verhältnissen, während die in solchen von vornherein gewachsenen Individuen derselben Art unberührt bleiben. In solchem Falle liegt also schon ein andrer krankmachender äußerer Umstand vor und eben keine ursprüngliche Krankheitsveranlagung. Irrig wäre es auch, wenn man, wie es früher und vielleicht jetzt noch manchmal geschieht, behaupten wollte, daß parasitische Krankheitserreger nur Pflanzen angreifen, welche schon aus irgend einer andern Ursache wirklich krank seien. Denn es ist von allen genauer bekannten parasitären Pflanzenkrankheiten festgestellt, daß es leicht gelingt, jedes beliebige gesunde Individuum der betreffenden Species mit den Keimen des bezüglichen Parasiten zu inficieren und dadurch die Krankheit mit allen ihren charakteristischen Symptomen künstlich zu erzeugen.

Erbliche Krankheitszustände.

Aber gewisse Krankheitszustände giebt es doch bei den Pflanzen, wo eigentlich nur von einer innern Ursache geredet werden kann, nämlich da, wo gewisse Merkmale von entschieden pathologischem Charakter vererbt werden. Es giebt Varietäten, welche durch teratologische oder auch rein pathologische Merkmale charakterisiert sind. So z. B. solche mit gewissen Mißbildungen an den Blättern oder an den

Blüten, oder solche mit abnormen Farben, z. B. mit Blättern, welche ganz oder stellenweise keine grüne Farbe besitzen. Solche Eigenschaften kommen bei der Aussaat der Samen gewöhnlich wieder, sind also erblich, und es sind so wirklich teratologische und pathologische Rassen entstanden. Das Auftreten solcher Merkmale fällt unter den Gesichtspunkt des Variierens; d. h. des spontanen Auftretens neuer Merkmale. Es brauchen beim Variieren der Pflanzen nicht immer nur solche neue Eigenschaften aufzutreten, welche vorteilhaft für die Lebensthätigkeiten der Pflanze sind. Vielmehr liegt im Begriffe des Variierens ebensowohl das Auftreten von Eigenschaften, die in irgend einer Beziehung den Lebenszwecken der Pflanze nicht entsprechen. Daß neu erworbene Merkmale vererbt werden können, ist ebenfalls eine bekannte Thatsache, und auch hierbei ist die Qualität derselben irrelevant. Es ist also nichts Befremdendes, daß auch Merkmale von teratologischem oder pathologischem Charakter vererbbar sind. Sich selbst überlassen werden solche Formen natürlich bald wieder verschwinden; aber ebenso selbstverständlich ist es, daß sie, wenn der Pflanzenzüchter sie absichtlich auswählt, sich erhalten und zu wirklichen Rassen sich ausbilden, dafern nur ihre pathologischen Merkmale von einer Art oder von einem Grade sind, daß das Leben dadurch nicht ohne weiteres gehemmt wird.

Ermittelung der Krankheitsursachen.

Bei der Ermittelung der Krankheitsursachen muß man sich bewußt sein, daß jede Pflanze beständig unter einer großen Anzahl verschiedenartiger Einwirkungen steht, als da sind Temperatur, Beleuchtungsverhältnisse, Beschaffenheit des Bodens und der Luft. Jeder dieser Faktoren kann nun unter Umständen einen schädlichen Charakter für die Pflanze annehmen. Es ist nun aber auch bekannt, welches Krankheitsbild die Pflanzen darbieten, wenn in diesen Beziehungen ein abnormer Einfluß vorliegt. Sollten wir also Symptome an der kranken Pflanze bemerken, welche auf eine dieser Ursachen hindeuten, so wird eine nähere Untersuchung aller einzelnen Umstände der eben genannten Art, unter denen die Pflanze sich befunden hat, Aufschluß darüber geben, ob und welcher dieser Faktoren die Krankheitsursache abgegeben hat. Natürlicherweise müssen dann in der Regel alle in derselben Kultur beisammenstehenden gleichartigen Individuen gleichmäßig von der Krankheit betroffen sein, da sie ja alle den gleichen Einwirkungen ausgesetzt waren. Läßt sich unter den allgemeinen Faktoren keiner finden, auf welchen eine Krankheit zu beziehen wäre, so ist anzunehmen, daß es sich um eine besondere Ursache handelt, welche direkt nur das einzelne Individuum getroffen hat, d. h. also meistens um den Angriff eines fremden, schädlichen Wesens. In

solchen Fällen pflegen auch gewöhnlich nicht alle beisammen wachsende Individuen erkrankt zu sein, sondern nur ein kleinerer oder größerer Bruchteil derselben, eben je nach der Häufigkeit, in welcher sie befallen worden sind. Auch in solchem Falle ergiebt sich in der Regel die Krankheitsursache ziemlich bald, da der betreffende Parasit sich gewöhnlich leicht an der Pflanze auffinden läßt, natürlicherweise nur durch mikroskopische Untersuchung, wenn es sich um einen mikroskopischen Pilz oder ein derartiges Tier handelt. Freilich kann man in dieser Beziehung auch getäuscht werden, wenn man die Krankheit erst in einem Stadium zu Gesicht bekommt, wo der Krankheitserreger bereits verschwunden oder durch sekundäre, erst am toten Pflanzenkörper aufgetretene sogenannte Fäulnisbewohner verdrängt ist. In diesem Falle bedarf es einer wiederholten Untersuchung, zu welcher frühere Zustände, insbesondere die Anfangsstadien der Krankheit, heranzuziehen sind.

Bekämpfung der Pflanzenkrankheiten.

V. Die Bekämpfung der Pflanzenkrankheiten. An ein rationelles Vorgehen gegen eine Pflanzenkrankheit kann nur dann gedacht werden, wenn die Ursache derselben aufgeklärt worden ist, denn andernfalls würde jedes Unternehmen dagegen nur ein blindes Umher probieren sein können. Der Kampf gegen die Pflanzenkrankheiten kann entweder auf eine Heilung einer schon vorhandenen Krankheit oder auf eine Verhütung des Eintretens einer solchen gerichtet sein. Bei kurzlebigen Pflanzen, wie den meisten landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, welche nur eine oder wenige Vegetationsperioden leben, kann naturgemäß in der Regel von einer Heilung nicht oder nur selten die Rede sein; denn schädliche Temperaturverhältnisse, ungünstige Beschaffenheit des Bodens, oder der Befall durch parasitische Pilze oder schädliche Tiere verderben gewöhnlich diese Pflanzen unrettbar, während allerdings bei den Bäumen und Sträuchern durch kunstgerechte Behandlung manches Leiden in der That wieder geheilt werden kann. Es ergiebt sich hieraus, daß der Kampf gegen die Pflanzenkrankheiten hauptsächlich auf die Verhütung derselben hinauskommt.

Welches die zweckmäßigen Verhütungsmaßregeln der Pflanzenkrankheiten sind, ergiebt sich aus der Kenntnis der Ursache und der Entstehung der Krankheit. Selbstverständlich werden sich also diese Maßregeln nach der Art der Krankheit und der Umstände, unter denen sie auftritt, richten müssen und sind also für jeden Einzelfall besonders zu erörtern. Ist dieses geschehen, so ist freilich noch nicht gesagt, daß die Mittel sich in der Praxis auch anwenden lassen. Sie können entweder den Zwecken der Kultur überhaupt zuwider laufen, oder sie können eine Arbeit beanspruchen, die sich für Verhältnisse im Großen

nicht ausführen läßt oder die mit Kosten verbunden sein würde, welche mit dem Gewinn, den die Kultur überhaupt abwirft, in keinem Verhältnisse stände. Sind die Mittel von dieser Art, so lassen sie sich freilich im Großen nicht anwenden. Auch darüber wird natürlich in jedem Einzelfalle entschieden werden müssen.

Pflanzenschutz. Überall da nun, wo es Mittel giebt, gegen deren Ausführbarkeit nach keiner Richtung hin Gründe sich anführen lassen, handelt es sich darum, dieselben nun wirklich zur praktischen Anwendung zu bringen. Dies ist die Aufgabe des Pflanzenschutzes. Es handelt sich hier naturgemäß um gemeinnützige Zwecke, um Aufgaben, die nicht sowohl den Einzelnen, als vielmehr die Gesamtheit der Pflanzenbauer im ganzen Lande angeht. Ja vielfach sind diese Mittel überhaupt nur unter der Bedingung erfolgversprechend, daß sie von allen Interessenten gemeinsam ausgeführt werden, besonders da, wo es sich um ansteckende Pflanzenkrankheiten handelt, deren Krankheitserreger für die Nachbarschaft, ja für das ganze Land gefährlich werden. Wir können gegen solche Krankheiten gerade ebenso wie gegen die seuchenartigen Krankheiten der Menschen und Tiere nur durch systematisch gemeinsames Vorgehen etwas ausrichten.

Somit ist unabweislich der auf den Pflanzenbau im großen bezügliche Pflanzenschutz eine Aufgabe des Staates, der Gemeinden oder sonstiger Vereinigungen. Was wir von Einrichtungen in dieser Beziehung besitzen, beschränkt sich bis jetzt auf folgendes.

Noch am meisten erfreut sich die Forstkultur dank ihrer nach einheitlichem Plane geordneten Verwaltung, in den Vorschriften und Methoden, welche der Forstschutz angiebt, einer Reihe von Schutzmaßregeln, welche im gegebenen Falle zur allgemeinen Anwendung kommen, und durch welche wenigstens für eine Anzahl von Baumbeschädigungen ein planmäßiges Einschreiten gesichert ist.

Der Schutz, den die Landwirtschaft und der Gartenbau gegen gemeingefährliche Pflanzenkrankheiten genießen, besteht, soweit der Staat oder die Gemeinden in Betracht kommen, nur aus einer Reihe für bestimmte Einzelfälle erlassener zweckmäßiger Polizeiverordnungen oder bestallter Kommissionen. Es ist hier zu denken an die von den königlich preußischen Regierungen seit längerer Zeit erlassenen Verordnungen betreffend die Ausrottung der Berberitzen behufs Fernhaltung des Getreiderostes; ferner an die Vorschriften zur Zerstörung der Raupennester. Dazu kommen neuerdings die Polizeiverordnungen betreffend das Abpflücken und Verbrennen der im Winter an den Kirschbäumen sitzenbleibenden Blätter, worin ich das sichere Bekämpfungsmittel gegen die durch Gnomonia erythrostoma verursachte Seuche aufgefunden habe,

und was in den besonders bedrohten Gegenden, nämlich im Regierungsbezirk Stade und in der Provinz Schleswig-Holstein vorgeschrieben ist. Auch die Anweisungen zur Befolgung der Maßregeln, um die Kirschenfliege zu vertilgen, wie sie von der Polizeibehörde der Stadt Guben den Obstbauern der dortigen Gegend gegeben werden, wären zu erwähnen. Eine staatliche Hilfe ersten Ranges aber sind die bezüglich der Reblaus bestehenden, gegen die Gefahr der Einschleppung derselben gerichteten Gesetze, sowie die in den weinbauenden Ländern eingesetzten Kommissionen zur planmäßigen Überwachung der Weinberge und zu der von staatswegen vorzunehmenden Vernichtung und Desinfektion der von der Reblaus infizirt befundenen Kulturen.

Man sieht aus dem Gesagten, daß von einer einheitlichen und umfassenden Organisation des Pflanzenschutzes, wozu naturgemäß ja nur der Staat mit seinen Machtbefugnissen berufen ist, dermalen noch nicht entfernt die Rede sein kann. Es ist hier nicht der Ort, die etwaigen Schwierigkeiten, die einer solchen Organisation im Wege stehen könnten, zu beleuchten, oder Vorschläge in dieser Beziehung zu machen. Nur um alles Thatsächliche, was mit dieser Frage zusammenhängt, zu registrieren, ist noch darauf hinzuweisen, daß, je weniger in dieser Sache der Staat sich seinen Aufgaben bisher gewachsen gezeigt hat, um so mehr private Unternehmungen an diese Aufgaben, so weit ihre Mittel es gestatten, heranzutreten versucht haben. Für das Gebiet des Deutschen Reiches besitzen wir in dem von der deutschen Landwirtschaftsgesellschaft 1890 gegründeten Sonderausschuß für Pflanzenschutz ein erfolgreich wirkendes Institut; derselbe hat eine große Anzahl von Auskunftsstellen, welche gleichmäßig über alle Gaue des Deutschen Reiches verteilt sind, eingerichtet, deren Aufgabe es ist auf Anfragen bezüglich vorkommender Pflanzenkrankheiten Rat zu erteilen. Über alle zur Kenntnis dieser Auskunftsstellen gekommenen Fälle wird von dem genannten Sonderausschuß ein regelmäßiger Jahresbericht veröffentlicht, durch welchen eine Statistik über die in Deutschland auftretenden Pflanzenbeschädigungen geschaffen und ein immer regeres allgemeines Interesse an den Aufgaben des Pflanzenschutzes wachgerufen wird. Die Inhaber der erwähnten Auskunftsstellen sind wissenschaftliche Autoritäten und sachverständige Praktiker, größtenteils Vorsteher derjenigen der Landwirtschaft und dem Gartenbau dienenden, staatlichen, wistenschaftlichen Institute, in deren Bereich mehr oder weniger auch das Studium der Pflanzenkrankheiten gehört, und die daher auch schon an und für sich für diese Interessen einzutreten haben, in ihrer von der deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft angebahnten Vereinigung aber einen erweiterten Wirkungskreis erhalten.

Das Nähere über die Einrichtung dieser Auskunftsstellen ist in dem oben citierten Schriftchen „Pflanzenschutz" zu finden. — In Frankreich besteht seit 1888 ein den gleichen Zwecken dienendes, auch zur Auskunftserteilung an Landwirte berufenes Institut in dem phytopathologischen Laboratorium zu Paris. — Auch die Vereinigten Staaten Nordamerikas besitzen ein derartiges Staatsinstitut: die seit 1888 in Thätigkeit befindliche phytopathologische Abteilung des Ackerbau-Departements zu Washington, welche ein Laboratorium und Versuchsfeld zu wissenschaftlichen Arbeiten besitzt, deren Ergebnisse in einer besonderen Zeitschrift, dem Journal of Mycology, herausgegeben werden, zugleich aber auch über die aus den Kreisen der Landwirte eingehenden Anfragen Auskunft erteilt und durch Agenten in den verschiedenen Staaten die Krankheiten der Pflanzen beobachten und praktische Feldversuche zur Bekämpfung derselben anstellen läßt.

Klassifikation der Pflanzenkrankheiten.

VI. Klassifikation der Pflanzenkrankheiten. Man könnte das Gebiet der Pflanzenkrankheiten einteilen nach den Pflanzenarten, an denen Krankheiten vorkommen. Für gewisse Zwecke, z. B. behufs einer schnellen Orientierung, kann es bequem sein, eine Aufzählung der Krankheiten je nach den einzelnen Kulturpflanzen zu besitzen. Aber für eine wissenschaftliche Belehrung über die Natur der Pflanzenkrankheiten wäre dieser Weg ungeeignet, weil er viele Krankheitserscheinungen, welche nach ihren ursächlichen Beziehungen zusammengehören oder auf das nächste verwandt sind, auseinanderreißen und an vielen Punkten Wiederholungen machen müßte. Eine wissenschaftliche Klassifikation der Pflanzenkrankheiten ist nur nach den Krankheitsursachen möglich. Darum soll auch die Einteilung des Gegenstandes im vorliegenden Buche nach diesem Prinzip geschehen. Somit zerfällt der Inhalt dieses Buches in folgende Abschnitte:

1. Von den Wirkungen des Raummangels.
2. Von den Wunden.
3. Erkrankungen durch atmosphärische Einflüsse.
4. Erkrankungen durch Bodeneinflüsse.
5. Erkrankungen durch Einwirkung schädlicher Stoffe.
6. Erkrankungen durch schädliche Pflanzen.
7. Erkrankungen durch schädliche Tiere.
8. Erkrankungen ohne nachweisbare äußere Veranlassung.

I. Abschnitt.

Von den Wirkungen des Raummangels.

Alle Pflanzenteile beauchen Raum.

Eine notwendige Bedingung der normalen Ausbildung der Pflanzen ist der für sie erforderliche Raum. Bisweilen setzen fremde feste Körper den wachsenden Organen ein Hindernis entgegen, welchem die Pflanze nicht auszuweichen und welches sie auch nicht zu besiegen vermag. Da hierbei gewöhnlich das Wachstum fortdauert, so werden die betreffenden Teile in den gegebenen engeren Raum eingezwängt. Die Folge ist eine Gestaltsveränderung, die von der Form des Hindernisses abhängig ist. Je nachdem das Längenwachstum oder das Dickenwachstum eines Pflanzenteiles behindert ist, ist der Erfolg verschieden.

Behinderung des Längenwachstums.

Wenn Pflanzenteile bei ihrem Längenwachstume einem unüberwindlichen Hindernisse begegnen, so müssen sie sich krümmen. Die Form dieser Krümmung strebt bei ringsum gleichmäßiger seitlicher Verschiebbarkeit eine Schraubenlinie zu werden. Kommen auch seitliche Hindernisse ins Spiel, so ergeben sich unregelmäßige Krümmungen, die bei großer Raumbeengung zu vollständiger Verwickelung und gegenseitiger Ineinanderpressung führen können.

Solche Erscheinungen kommen ganz gewöhnlich an Wurzeln vor, wenn dieselben aus irgend einem Grunde an ihrer Ausbreitung im Boden gehindert sind, besonders also an den Wurzeln in Blumentöpfen; die nach unten gehenden Wurzeln verschlingen sich hier am Boden des Topfes derart, daß daselbst ein nur aus Wurzelmasse bestehender, dichter Filz vorhanden ist, und das gleiche thun die an den Wänden des Topfes zusammentreffenden zahlreichen Seitenwurzeln.

Wenn Stengel und Blätter unter größeren Steinen u. dergl. sich bilden, unter denen sie sich nicht hervorarbeiten können, so machen sie ähnliche Zwangskrümmungen und werden an ihrer normalen Formbildung gehindert. Da an solchen Orten gewöhnlich auch dem Lichte der Zugang verwehrt ist, so wird in Folge des Etiolements das Längenwachstum abnorm vergrößert, was die Zwangskrümmungen noch mehr befördert. Auch das fort-

währende Bestreben solcher Pflanzenteile, durch negativ geotropische Krümmungen sich senkrecht zu stellen, wirkt unter diesen Umständen in dem gleichen Sinne.

Wenn das Hindernis beseitigt wird, so können solche Krümmungen nur dann wieder ausgeglichen werden, wenn die Periode des Wachstums an den gekrümmten Stücken noch nicht vorüber ist; an denjenigen Teilen, die ihr Wachstum abgeschlossen haben, bleiben die Veränderungen dauernd, und nur die weiter sich bildenden Teile werden dann in normaler Richtung entwickelt.

Behinderung des Dickenwachstums.

Hindernisse, welche in der Richtung des Dickenwachstums der Organe wirken, haben zur Folge, daß der Pflanzenteil je nach der Form des fremden Körpers eingeschnürt oder abgeplattet wird. An Pflanzenteilen, die ein starkes und langdauerndes Dickenwachstum besitzen, werden daher diese Erscheinungen besonders auffallend, und zwar kommt dies sowohl an solchen Pflanzenteilen vor, welche ihr großes Volumen durch ein primäres Dickenwachstum erreichen[1]), das also auf einer Vergrößerung des gesamten Grundgewebes beruht, wie bei dicken Krautstengeln, Knollen und großen Früchten, als auch bei solchen, welche alljährlich durch sekundäres Dickenwachstum zunehmen, das also auf der Thätigkeit eines Cambiumringes beruht und in einer entsprechenden Zunahme des Holzkörpers besteht, wie bei den Wurzeln und Stämmen der Holzpflanzen. Hier wirkt natürlich das Hindernis immer als ein Druck der Querrichtung, und die Wirkung ist auch in allen Fällen, mag es um ein primäres oder sekundäres Dickenwachstum sich handeln, insofern ein und dieselbe, als in der Richtung, in welcher das Hindernis wirkt, sowohl die Vermehrung der Zellen, als auch das Wachstum der wirklich gebildeten Zellen schwächer wird; doch kommen dabei auch Verschiebungen in den Geweben zu stande, indem die Wachstumsrichtung mehr oder weniger nach der Gegend der unbehinderten Ausdehnung ausweicht.

Von den vielen Fällen, wo absichtlich oder unbeabsichtigt Pflanzenteile an ihrem Dickenwachstum gehindert und dadurch verunstaltet werden, seien nur folgende erwähnt.

An Früchten.

Großen Früchten, besonders denen der Cucurbitaceen, kann man durch Unterbindungen oder Kompressionen beliebige Gestalten geben. Bekannt ist ein Gebrauch der Chinesen, welche ganz junge Kürbisfrüchte in viereckige, inwendig mit vertieften Figuren und Schriftzügen gezeichnete Flaschen stecken; die Früchte vergrößern sich, füllen die ganze Flasche aus und drücken sich in den Wänden ab; wenn sie reif sind, zerschlägt man die Flasche und nimmt die künstlich geformten Früchte heraus.

An Knollen und Wurzeln.

Kartoffelknollen, Rüben und andre dickwerdende Wurzeln wachsen manchmal, wenn sie noch jung sind, durch enge Löcher fester Körper, denen sie zufällig im Erdboden begegnen, und erscheinen daher später durch die-

[1]) Vergl. mein Lehrbuch der Botanik. Leipzig 1892, I. pag. 375.

selben eingeschnürt. Flaschenhälse, Drathschlingen, durchlochte Holz- oder Metallstücke und dergleichen findet man bisweilen in dieser Weise von solchen Pflanzenteilen durchwachsen und mehr oder weniger in dieselben eingewachsen.

An Bäumen, die über felsiger Unterlage stehen, ist es eine sehr häufige Erscheinung, daß die jungen Wurzeln, welche zwischen enge Felsenspalten hineingewachsen sind, mit zunehmendem Alter eine immer plattgedrücktere Form annehmen, weil ihr fortdauerndes sekundäres Dickenwachstum nur in der Richtung der Spaltenfläche freien Spielraum hat. Wenn sie sich viele Jahre so entwickelt haben, so kommen sie endlich einmal beim Abbrechen des Gesteins in den seltsamsten Formen, manchmal fast bis zu Papierdünne abgeplattet, zum Vorschein. Solche Baumwurzeln zeigen daher auf dem Querschnitt in der Form des Holzkörpers die analoge Deformität (Fig. 2). Das Mark liegt meist mehr oder weniger excentrisch; in den beiden Richtungen, wo das Gestein angrenzte, hat sich nur eine schmale Holzschicht entwickeln können; aber nach den beiden andern Seiten hin ist der Holzkörper nach Maßgabe seines Alters erstarkt und durch die entsprechende Anzahl unvollständiger, bogenfömiger Jahresringe gezeichnet. Die Rinde ist ebenfalls an den freien Seiten meist ungemein mächtig entwickelt, während ihr Dickenwachstum an den andern Seiten auf ein Minimum beschränkt ist. Die Peridermhaut geht lückenlos um die ganze Oberfläche der Wurzel herum. Selbst Abdrücke der Unebenheiten der Steinflächen prägen sich am Wurzelkörper aus, und wo zwei Wurzeln beisammen in einer Felsspalte sich entwickeln, bringen sie aufeinander ihren Abdruck hervor. Bemerkenswert ist die Gewebebildung des Holzkörpers an den im Dickenwachstum gehemmten Seiten. Wenn auch eine Zunahme des Holzkörpers in diesen Richtungen absolut unmöglich ist, so ist die dort liegende Cambiumschicht doch keineswegs getötet, ja nicht einmal zu völliger Unthätigkeit gebracht. Das auffallendste Resultat dieser auf das äußerste beschränkten cambialen Thätigkeit ist, daß in der ganzen Ausdehnung, in welcher der Druck auf die Cambiumschicht wirkt, eine Gliederung des Holzgewebes in Jahresringe nicht stattfindet, und keine weiten Gefäße, wie sie dem Frühjahrsholze eigentümlich sind, gebildet werden. Beides findet an den keinem Druck ausgesetzten andern beiden Seiten in normaler Weise statt. Das Holzgewebe nimmt daher an beiden unter dem Drucke stehenden Seiten eine mehr homogene Beschaffenheit an, wie aus den beistehenden Abbildungen ersichtlich. Stärkere Vergrößerung eines Durchschnittes durch das Holz an dieser Seite läßt genauer erkennen, wie hier die cambiale

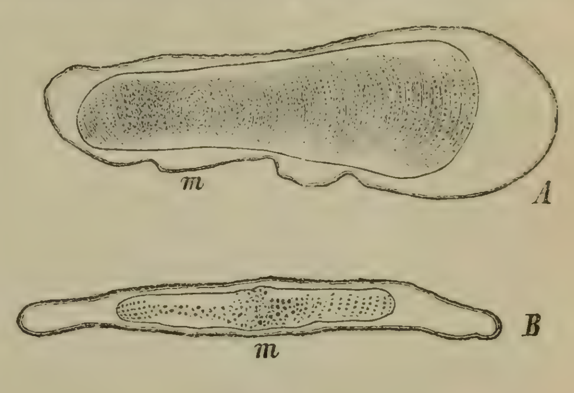


Fig. 2.

Zwischen Felsenspalten gewachsene und durch den Druck veränderte Eichenwurzeln im Querdurchschnitt. A eine ältere Wurzel, 2 Mal vergrößert. B jüngere Wurzel, 3 Mal vergrößert. m die Gegend des Markes.

Thätigkeit verändert wird. Die Holzzellen, welche sonst in radialen Reihen abgelagert werden, weichen hier dem Drucke aus, indem sie sich in sehr schiefer Richtung anordnen; und da sie abwechselnd zeitweise nach rechts und links ausweichen, so bilden sie oft sehr spitzwinklige, zickzackförmige Reihen, was besonders durch die Markstrahlen, die sich diesen Richtungen anschließen, angezeigt wird. Es kommt hinzu, daß hier vorzugsweise nur engere Tracheïden und Holzparenchymzellen gebildet werden, daß diese Organe kürzer als im normalen Holze sind und gewöhnlich auch mit ihrer Längsachse aus der normalen longitudinalen Richtung in eine mehr oder minder schiefe Richtung gedrängt werden.

An Baumstämmen.

Auch Stämme und Äste von Holzpflanzen treffen manchmal auf Hindernisse, die sich bei zunehmendem Dickenwachstum in dieselben eindrücken. Ein Draht, ein davorstehender Zaun, Gitter u. dergl., oder der Stengel einer holzigen Schlingpflanze, die den Stamm umwunden hat, bieten hierzu nicht selten Veranlassung. Solche Hindernisse können bei immer fortgehendem Dickenwachstum des Stammes endlich in denselben einschneiden und wirkliche Wunden hervorbringen, von denen im nächsten Kapitel die Rede ist.

Auch schon leichterer Druck, wie er durch Umschlingen von Bindfaden erzeugt wird, hat nach de Vries [1]) Versuchen an Stämmen verschiedener Holzpflanzen zur Folge, daß das Cambium an dieser Stelle desto weniger Zellen in jeder Radialreihe erzeugt, daß der Durchmesser der Holzzellen wie der Gefäße geringer wird, und daß auch die relative Zahl der Gefäße sich vermindert. Dagegen war die Meinung dieses Forschers, daß aus dem natürlichen Rindendruck und seinen Schwankungen die Bildung des Frühjahrs- und Herbstholzes und somit die Bildung der Jahresringe im Holzkörper der Bäume sich erkläre, eine verfehlte, wie Krabbe [2]) nachgewiesen hat.

II. Abschnitt.

Von den Wunden.

Wie Wunden entstehen.

Im natürlichen Verlaufe des Lebens lösen sich von vielen Pflanzen regelmäßig gewisse Teile los, wie die im Herbste abfallenden Blätter der Holzpflanzen und die freiwillig sich abstoßenden Zweige, die sogen. Absprünge an den Eichen, sowie die alljährlich absterbenden oberirdischen Triebe von den unterirdischen ausdauernden Organen der Stauden. Die Bruchstellen, die sich hierbei bilden, sind aber gar nicht eigentlich als Wunden zu betrachten, denn schon vor der Ablösung jener Organe

[1]) Einfluß des Rindendruckes auf den anatomischen Bau des Holzes. Flora 1875. Nr. 7.

[2]) Sitzungsber. d. Berliner Akad. Dezember 1882. und Abhandl. d. Berliner Akad. 12. Juni 1883.

wird an der Trennungsstelle ein neues Hautgewebe in Form einer Korkschicht gebildet, welches also bereits fertig ist, wenn die Abtrennung erfolgt, und welches nach Entstehung, Bau und schützender Wirkung übereinstimmt mit der Korkhaut, die sich normal an der Oberfläche unverletzter Stammteile findet, und mit derjenigen, die auf eigentlichen, unfreiwillig entstehenden Wunden nachträglich sich zu bilden pflegt. Die holzigen Teile der Gefäßbündel, welche bei diesen spontan eintretenden Verwundungen, freigelegt werden und die ja der Korkbildung unfähig sind, gehen auch hier an der Wundstelle in das unten zu erwähnende Schutzholz über, indem die Gefäße und Tracheiden durch entstehendes Wundgummi verstopft werden.

Von eigentlichen Wunden kann also nur da die Rede sein, wo durch äußere Ursachen der normale Zusammenhang der Zellgewebe aufgehoben wird und innere lebende Gewebe blosgelegt werden. Verwundungen können natürlich an jedem beliebigen Pflanzenteile und in sehr verschiedener Weise eintreten. Ehe wir jedoch die einzelnen Verwundungsarten näher betrachten, ist es passend, sich über gewisse allgemeine Thatsachen aufzuklären, welche sich auf die Folgen der Verwundungen bei den Pflanzen überhaupt beziehen.

Folgen der Verwundung.

An der lebenden Pflanze zieht jede Verwundung gewisse Folgen nach sich, die man unter folgende Gesichtspunkte bringen kann. 1. Störung derjenigen normalen Lebensthätigkeiten, zu deren Ausübung das durch die Verwundung verletzte oder verloren gegangene Organ (sei es morphologisches Glied, sei es Zellgewebe) bestimmt ist. 2. Die an der Wundstelle eintretenden Reaktionen, die auf den Schutz und auf die Heilung des verletzten Organes oder auf dessen Reproduktion abzielen. 3. Die Zersetzungserscheinungen der Gewebe, welche, wenn die rechtzeitige Heilung nicht gelingt, von der Wunde ihren Ausgang nehmen und die man generell als Wundkrankheiten oder Wundfäule bezeichnen kann.

---

1. Kapitel.

Störung der Lebensthätigkeiten infolge von Verwundung.

Störung der Lebensthätigkeiten nach Verwundung.

Wenn man weiß, welche Verrichtungen die einzelnen Teile der Pflanze zu besorgen haben, so kann man bei jeder Verwundungsart vorher sagen, welche Thätigkeiten der Pflanze gestört, beziehentlich aufgehoben werden, je nachdem die betreffenden Pflanzenteile eine geringere oder stärkere Verwundung erlitten haben, beziehentlich ganz verloren gegangen sind. Es ist hier an das zu erinnern, was in der Einleitung in dieser Beziehung gesagt worden ist.

Folgen der Verletzung der Wurzeln.

Bei Verletzungen oder Verlust der Wurzeln wird die Wasseraufnahme der Pflanze vermindert oder ganz aufgehoben, je nach der Größe des Wurzelverlustes; die oberirdischen Teile der Pflanze erhalten also nicht mehr genügend Wasser, und weil die Transpiration derselben fortdauert, so verlieren sie also mehr Wasser als ihnen neues zugeführt wird. Die Symptome, unter denen dies an der Pflanze zum Ausdruck kommt, sind je nach den Eigenschaften der Pflanzen verschiedene. Bei allen Gewächsen mit weichen, saftigen Blättern und Stengeln tritt Welkwerden ein, welches die unmittelbare Folge der Verminderung des Turgors der Zellen ist, die aus der Abnahme des Wassergehaltes der Gewebe resultiert. Es ist eine gewöhnliche Erscheinung der meisten krautartigen Pflanzen, daß sie welk dastehen, wenn ihre Wurzeln durch Tierfraß oder in Folge des Verpflanzens beschädigt worden sind. Handelt es sich um Pflanzen mit härteren, saftärmeren Blättern, so tritt ein Gelb- oder Braunwerden und langsames Vertrocknen der Blätter ein; wieder andere Pflanzen lassen unter solchen Umständen leicht die Blätter abfallen, so daß eben jede Pflanzenart hierin ihre eigenen Symptome zeigt. Am wenigsten empfindlich sind die Succulenten, weil diese wegen ihrer überaus schwachen Transpiration längere Zeit ohne Wurzel existiren können und auch meist leicht sich wieder bewurzeln.

Störungen von Lebensthätigkeiten nach Verwundung von Rinde und Holz.

Rinde und Holzkörper sind für die Leitung der Stoffe in der Pflanze von so großer Bedeutung, daß, wenn diese Gewebe an irgend einer Stelle in Folge von Verwundung unterbrochen sind, daraus erhebliche Störungen für die Pflanze entstehen können, besonders an den Stämmen und Zweigen der Holzpflanzen, weil hier beide Gewebe so orientiert sind, daß der Holzkörper den centralen, die Rinde den peripherischen Teil ausmacht und die Rinde überdies hier eigentlich das einzige für die Stoffwanderung auf diosmotischem Wege in Betracht kommende Gewebe ist. Denn die in den grünen Blättern durch die Assimilationsthätigkeit unter Verwendung der atmosphärischen Kohlensäure erzeugten organischen Pflanzenstoffe werden in der Rinde der Zweige und Stämme fortgeleitet und gelangen auf diesem Wege aus den Blättern nach allen den Teilen der Pflanze, wo Bildungsthätigkeiten stattfinden, wo also immer neues plastisches Material gebraucht wird. Wenn nun durch eine ringförmige Verwundung die Rinde völlig unterbrochen ist, so werden die von den darüber stehenden Blättern erzeugten assimilierten Stoffe oberhalb der Ringelwunde zurückgehalten. Betrifft also den Stamm einer Holzflanze eine solche ringförmige Entrindung, und befinden sich unterhalb der letzteren keine blättertragenden Zweige, so werden dadurch alle unterhalb der Ringelwunde befindli-

chen Partien von der Versorgung mit assimilierten Nährstoffen ausgeschlossen; d. h. das Wachstum des ganzen Wurzelsystems und die Holzbildung des Stammes unterhalb der Ringelwunde erhalten kein Nahrungsmaterial mehr und kommen zum Stillstand, und wenn es der Pflanze nicht bald gelingt, durch den natürlichen Heilungsprozeß der Überwallung (s. unten) die Wunde zu schließen, so ist immer die natürliche Folge, daß das ganze Wurzelsystem abstirbt und also die Pflanze eingeht. Der Holzkörper dagegen dient außer als mechanisches Festigungsmittel im Aufbau des Baumes hauptsächlich zur Aufwärtsleitung des Wassers, welches die Wurzeln aus dem Erdboden aufgenommen haben und welches den Blättern beständig zugeführt wird, um den Verdunstungsverlust derselben wieder zu ersetzen, zugleich aber auch um verschiedene mineralische Nährstoffe, welche in dem Wasser aufgelöst sind, den Blättern zuzuleiten. Dieser sogenannte Transpirationsstrom geht also ungehemmt fort, auch wenn die Rinde durch eine Ringwunde vollständig unterbrochen ist, sofern eben nur der Holzkörper dabei erhalten geblieben ist. Auch bei starken Entrindungen der Stämme bleibt daher das Laub des Baumes lange frisch und lebensthätig, und wenn es endlich Zeichen des Absterbens erkennen läßt, so ist dies eben die Folge des inzwischen eingetretenen Todes der Wurzeln, ohne deren Arbeit das Aufsteigen des Transpirationsstromes im Holzkörper nicht zu Stande gebracht wird. Es sind denn auch vielfach Fälle beobachtet worden, wo Bäume, deren Stämme der Rinde vollständig beraubt worden, noch eine Reihe von Jahren am Leben geblieben sind, indem sie sich jedes Jahr von neuem belaubten.[1]) Bei der von Trecul[2]) erwähnten Linde von Fontainebleau, welche trotz vollständiger ringförmiger Entrindung des Stammes 44 Jahre lang am Leben blieb, erklärt sich die Erhaltung der Wurzeln durch den Umstand, daß der Stamm über der Erde reichlich belaubte Triebe gebildet hatte.

Wenn umgekehrt der Holzkörper an irgend einem Punkte des Stammes oder der Zweige ganz oder größtenteils zerstört ist, so hat dies, auch wenn die Rinde unverletzt sein sollte, natürlicherweise augenblicklich ein Aufhören des Saftsteigens nach oben und ein Vertrocknen der darüber gelegenen Teile zur Folge; doch brechen dann eben in der Regel die letzteren an der Wundstelle ab.

Störung von Lebensthätigkeiten nach Verlust der Blätter.

Die grünen Blätter sind für die mit solchen versehenen Pflanzen die unentbehrlichen Assimilationsorgane, in deren chlorophyllhaltigen

---

[1]) Vergl. Sorauer, Pflanzenkrankheiten, 2. Aufl. I. pag. 571—574.

[2]) Ann. der sc. nat. 4. sér. T. III. 1855, pag. 341.

Zellen unter dem Einflusse des Lichtes Kohlensäure, welches die Blätter aus ihrem umgebenden Medium aufnehmen, und Wasser zu organischen Kohlenstoffverbindungen umgewandelt werden, wodurch dasjenige Kohlenstoffmaterial gewonnen wird, das die Pflanze zu ihrer Ernährung bedarf und welches in allen pflanzlichen Produkten enthalten ist. Wenn also eine Pflanze zur Zeit, wo sie ihre Vegetation noch nicht beendigt hat (der normale herbstliche Abfall der Blätter gehört also nicht hierher), alle ihre grünen Blätter verliert, so kommt von diesem Zeitpunkte an jede Produktion der Pflanze so gut wie zum Stillstand, wenn nicht inzwischen eine Neubildung von Blättern stattfinden sollte. So werden also die Wurzeln und andre unterirdischen Organe in ihrer weiteren Ausbildung gehindert; eine Kartoffelpflanze, die all' ihr Laub verloren hat, läßt dann einen wesentlichen Fortgang der Knollenbildung und eine Vermehrung des Stärkemehls in denselben nicht mehr erwarten; eine Rübenpflanze unter den gleichen Bedingungen keine weitere Vervollkommnung des Rübenkörpers und Zunahme ihres Zuckergehaltes. Fruchttragende Pflanzen können nach vollständigem Verluste ihrer grünen Blätter nichts Erhebliches mehr zur Produktion von Früchten und Samen thun; es tritt also sowohl bei Körnerfrüchten, bei Ölfrüchten, bei Leguminosen 2c., als auch bei Obstbäumen, beim Weinstock 2c. eine Vereitelung der Fruchtbildung ein, wenn der Blattapparat durch irgend eine mechanische Veranlassung, sei es durch Menschenhand, durch Tierfraß, durch Hagel u. dergl. zerstört worden ist. Aus dem gleichen Grunde wird außerdem bei allen Holzpflanzen die Zweigbildung des betreffenden Jahres gestört oder geschwächt. Der ganze Trieb kann, wenn er seine Blätter verloren hat, trocken werden und absterben; das tritt um so eher ein, je jünger derselbe zur Zeit der Entlaubung war; daher kommt es bei Kahlfraß an Holzpflanzen, besonders wenn er zeitig im Frühjahr eingetreten ist, vor, daß einzelne Zweige oder die Spitzen derselben vertrocknen. Je später im Sommer der Verlust des Laubes eintritt, desto weniger macht sich die Schwächung in der Ausbildung der Triebe bemerkbar, weil dann eben die Ernährung derselben desto vollständiger geschehen konnte. Die Schwächung der Zweigbildung spricht sich besonders darin aus, daß die Zweige ungenügend erstarken und daß die Bildung ihrer Winterknospen mangelhaft ausfällt, indem wenigere und kleinere Knospen erzeugt werden. Die Folge dieser ungenügenden Ausbildung der Knospen und der mangelhaften Ansammlung von Reservestoffen für die neue Vegetationsthätigkeit ist, daß auch die nächstfolgende Belaubung, mag sie nun noch in demselben Jahre wieder erscheinen oder erst im nächsten Jahre, noch unter den Folgen des Kahlfraßes zu leiden hat. Und so kann

selbst mehrere Jahre hintereinander die Zweig- und Laubbildung des Baumes geschwächt werden, besonders aber dann wenn hintereinander wiederholte Entlaubung eintritt, indem dann, allmähliches Vertrocknen und Absterben auch der größeren Äste eintritt, was oft der Grund zu dauerndem Siechtum und endlichem Tode des Baumes wird. Die Entlaubung hat aber auch einen schädlichen Einfluß auf die gesamte Holzbildung des Baumes, weil diese ja auch durch die Assimilationsthätigkeit der Blätter das nötige Nahrungsmaterial empfängt. Der im Entlaubungsjahre zur Ausbildung kommende Holzjahresring in den Ästen und im Stamme fällt entsprechend schwach aus. Der schmale Jahresring bleibt dann natürlich dauernd im Holzkörper kenntlich; man kann also auf Stammquerschnitten daraus genau diejenigen Jahrgänge bestimmen, in welchen der Baum während seines Lebens solche Laubbeschädigungen erlitten hatte. Aus Ratzeburg's[1]) Beobachtungen ist zu entnehmen, daß, wenn der Blattverlust zeitig im Frühlinge eintritt, z. B. beim Fraß der Forleule, auch der im Fraßjahre gebildete Jahresring sehr schmal bleibt, dagegen bei spät eintretendem Fraß, z. B. nach demjenigen des Kiefernspanners, der Jahresring im Fraßjahre ziemlich unverändert ist, aber der des Nachfraßjahres sich tief gesunken zeigt, was sich daraus erklärt, daß in jedem Sommer die Ausbildung des neuen Jahresringes zuerst, die Erzeugung der Reservenährstoffe für den nächsten Frühling erst später erfolgt. Ratzeburg's Beobachtungen nach Nonnenfraß an der Fichte ergeben, daß die Holzbildung der Zweige stets im Verhältnis zur Bildung der Jahrestriebe steht, mit dieser sinkt und steigt, und daß sogar im Baumstamme die Abnahme der Jahresringe sehr stark und plötzlich eintritt und auch noch in den folgenden Jahren bleibt; selbst wenn ein Zweig nur an einer Seite blättertragende Triebe behalten hat, so ist das Dickenwachstum des Jahresringes an dieser Seite relativ am stärksten, an den übrigen geschwächt. Als eine Eigentümlichkeit bei den Nadelbäumen erwähnt Ratzeburg das Auftreten ungewöhnlich weiter und zahlreicher Harzkanäle in den in Folge von Kahlfraß besonders schmal gebliebenen Jahresringen, so daß dieselben bisweilen fast die ganze Breite eines solchen Jahresringes einnehmen, daher sie auch bei einseitiger Beästung, wo der Holzring sich ungleich ausbildet, nur an der astlosen Seite auftreten sollen. Soweit sich nach der anatomisch ungenügenden Darstellung vermuten läßt, scheint es sich hierbei um wirkliche Harzhöhlen, durch Zerstörung von Holzzellen entstanden (lysigen) zu handeln, wie solche nach Verwundungen häufiger zu entstehen pflegen

---

[1]) Waldverderbnis. I. pag. 160, 174, 234.

(s. unten). Wenn nach Entblätterung einer Holzpflanze nochmalige Belaubung in demselben Sommer eintritt, so kann eine wirkliche Verdoppelung des Jahresringes stattfinden, eine mehrfach behauptete und wieder bestrittene, jedoch von Kny[1]) an mehreren Laubhölzern sicher nachgewiesenen Erscheinung. Durch den plötzlichen Laubverlust wird eine Unterbrechung der Zellteilungen im Cambium bedingt, nachdem noch einige Schichten radial zusammengedrückter enger Holzzellen gebildet worden sind, worauf nach der Wiederbelaubung die Holzbildung mit weiten Gefäßen und radial gestreckteren Zellen beginnt, womit also die anatomischen Verhältnisse des Herbst- und Frühjahrsholzes nachgeahmt werden. Freilich ist diese Verdoppelung des Jahresringes nur in den einjährigen Zweigen selbst, welche ihre Blätter eingebüßt hatten, scharf ausgeprägt; sie nimmt nach den unteren Internodien des Zweiges hin allmählich ab, um in den mehrjährigen Zweigen zu verschwinden.

Alle hier beschriebenen Störungen der Lebensthätigkeiten in Folge des Verlustes der Blätter zeigen sich natürlich in ihrem höchsten Grade, wenn die Pflanze ihre sämtlichen Blätter verloren hat; sie sind aber in schwächerem Grade zu erwarten, wenn der Blattverlust ein partieller ist, sei es daß nur eine Anzahl von Blättern ganz verschwunden ist, sei es daß die Blätter bloß einzelne Teile oder Stücke eingebüßt haben, wie es namentlich bei Insektenfraß oft zu geschehen pflegt. Es wird dies im ungefähren Verhältnis zur Größe des eingetretenen Defektes zu erwarten sein, gleiche Entwickelungsperiode der Pflanze und gleiche Jahreszeit vorausgesetzt; denn man darf annehmen, daß mit der Verminderung der Größe der der Pflanze zur Verfügung stehenden Assimilationsfläche jede der erwähnten Ernährungs- und Produktionsthätigkeiten proportional vermindert wird. Bei gewissen Pflanzen kann jedoch ein teilweiser Verlust der Laubblätter sogar vorteilhaft für gewisse Produktionen der Pflanze werden. Dahin gehört besonders das Kappen der Reben, indem man im Sommer den traubentragenden Stöcken die oberen Laubblätter ausbricht; man erzielt mit dieser in den Weinbauländern allgemein üblichen Maßregel, daß die assimilierten Stoffe, welche die unteren in der Nähe der Trauben stehenden Blätter erzeugen, ganz für die Ausbildung der Trauben verwendet werden, während sonst ein Teil von ihnen zur luxuriösen Entwickelung des Laubapparates verschwendet werden würde[2]).

[1]) Verhandl des botan. Ver. der Prov. Brandenburg 1879. — Vergl. auch die gleichsinnigen Mitteilungen Ratzeburg's l. c. II. pag. 154, 190, 232.

[2]) Vergl. Cuboni, Rivista di Viticoltura ed Enologia Italiana 1885. Heft 1.

2. Kapitel.

Die Reaktionen der Pflanzen gegen Verwundungen. Natürliche Schutzvorkehrungen, Heilungen und Reproduktionen an den Wunden; Wundkrankheiten.

Die Reaktionen im allgemeinen.

Jede Verwundung ruft an der Wundstelle gewisse Thätigkeiten der Pflanze wach, durch welche mancherlei Veränderungen an der Wunde selbst hervorgebracht werden. Man kann also alle neuen Bildungsthätigkeiten, welche sich an einer Wunde oder in deren unmittelbarster Nähe einstellen, als die Reaktionen der lebenden Pflanze gegen die Verwundungen generell bezeichnen. Dieselben müssen nun aber je nach ihrer Art und physiologischen Bedeutung in mehrere Kategorien unterschieden werden. Einesteils haben sie nämlich die Bedeutung von unmittelbaren Schutzvorkehrungen, welche sehr schnell nach geschehener Verletzung an der Wundstelle eintreten zum Schutze des durch die Verletzung bloßgelegten inneren Gewebes gegen die durch die Berührung mit der Luft drohenden Gefahren. Anderenteils sind es wirkliche Heilungsprozesse, welche für die Herstellung eines neuen Hautgewebes an Stelle des durch die Wunde verloren gegangenen sorgen. Oder aber es sind sogar Reproduktionen, d. h. es werden ganze verloren gegangene Glieder durch Neubildung gleichartiger Glieder ersetzt. Im Gegensatz zu diesen gutartigen Reaktionen können aber auch schädliche Folgeerscheinungen an den Wunden sich zeigen; wenn nämlich die Schutzvorkehrungen oder die Heilungsprozesse sich verzögern, so gewinnen die von der Wunde aus immer weiter in das angrenzende lebende Gewebe fortschreitenden Zersetzungserscheinungen, die man generell als Wundfäule oder Wundkrankheiten bezeichnen kann, die Oberhand. Wir werden zunächst die hier kurz charakterisierten verschiedenen Reaktionen der Pflanzen gegen Verwundungen einzeln näher kennen lernen, um dann weiter unten auf Grund dieser Kenntnisse die Maßregeln betreffs der Behandlung der Wunden zu besprechen.

A. Natürliche Schutzvorkehrungen nach Verwundungen.

I. Schutzholz und Kernholz.

Begriff des Schutzholzes.

Die Holzpflanzen zeigen ausnahmslos die Erscheinung, daß wenn ihr Holzkörper an irgend einem Punkte verwundet wird, die gesamte der Luft unmittelbar ausgesetzte freigelegte Stelle des Holzes bis zu einer gewissen, verhältnismäßig geringen Tiefe sehr bald eine dunklere Farbe annimmt (Fig. 3), die besonders auf dem Durchschnitte durch eine solche Wundstelle auffallend absticht und sich scharf abgrenzt gegen

die unverändert helle Farbe, welche das unter der so veränderten Holzschicht liegende Splintholz besitzt. Wie die mikroskopische Prüfung uns lehrt, hat diese Dunkelung ihren Grund darin, daß die Zellwände des betreffenden Holzgewebes durch einen meist bräunlichen Farbstoff sich gefärbt haben, hauptsächlich aber darin, daß die Lumina der Gefäße und Tracheïden mit einer festen Ausfüllungsmasse von brauner Farbe verstopft sind.

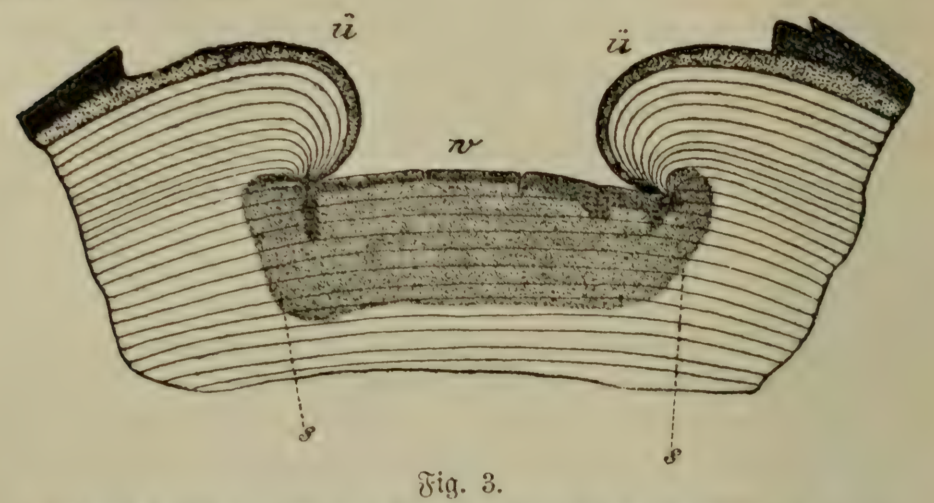


Fig. 3.

Schutzholzbildung an der Wunde eines Birkenstammes, der vor etwa 10 Jahren die bis aufs Holz gehende Flachwunde *w* erhielt; an dieser Stelle ist das bloßliegende Holz in der Partie *s s* in dunkles Schutzholz übergegangen, während das übrige Holz hell geblieben ist; von den Rändern der Wunde her ist die Heilung durch Ueberwallungen *ü ü* im Gange.

Was für eine bedeutungsvolle Reaktion der Pflanze in dieser Veränderung des Holzes an jeder Wundstelle liegt, ist den Pflanzenphysiologen bis in die neuere Zeit unbekannt geblieben. Auch R. Hartig hat bei seinen Arbeiten über die Holzkrankheiten[1]) die Bedeutung dieser Erscheinung völlig verkannt; er erklärt diese Bräunungen als erstes Stadium von „Zersetzung des Holzes" oder von „Wundfäule" und ist auch über die chemische Natur dieser Ausfüllungsmassen der Gefäße und Holzzellen im Irrtum; denn er sagt, daß eine gelbe oder bräunliche Flüssigkeit im Innern der Organe enthalten sei, welche von dem Eindringen des Außenwassers herrühre, nach dem Austrocknen sich als Kruste auf der Wandung ablagere oder als brüchige, beim Trockenen rissig gewordene, gelbe oder bräunliche Substanz das ganze Innere fast ausfülle und als Humuslösung zu betrachten sei, weil sie

---

[1]) Die Zersetzungserscheinungen des Holzes. Berlin 1878 und Lehrbuch der Baumkrankheiten. Berlin 1882, pag. 140 – 141.

aus Zersetzungsprodukten des Zellinhaltes bestehe, welche durch das eindringende Außenwasser gelöst und weiter in das Holz fortgeführt werden. Die ganze Hartig'sche Behandlung der eigentlichen Wundfäule des Holzes, die mit diesen Erscheinungen gar nichts zu thun hat, wird von diesen irrtümlichen Auffassungen beherrscht, die ich allerdings in die erste Auflage dieses Lehrbuches auf R. Hartig's Autorität hin aufnahm, weil ich damals noch nicht selbst die Sache untersucht hatte.

Entstehung des Schutzholzes.

Über die in Rede stehenden Veränderungen des Holzes sind von Temme unter meiner Leitung Untersuchungen angestellt worden[1]. Wir haben gezeigt, daß es sich hier keineswegs um Zersetzungsprodukte, sondern um ganz bestimmte Pflanzenstoffe handelt, welche durch eine Lebensthätigkeit des verwundeten Holzes regelmäßig erzeugt und als Mittel zur Verstopfung der Lumina der Gefäße und der Zellen solchen Holzes benutzt werden. Bei allen einheimischen Laubhölzern bestehen nämlich diese Ausfüllungsmassen aus einer und der-

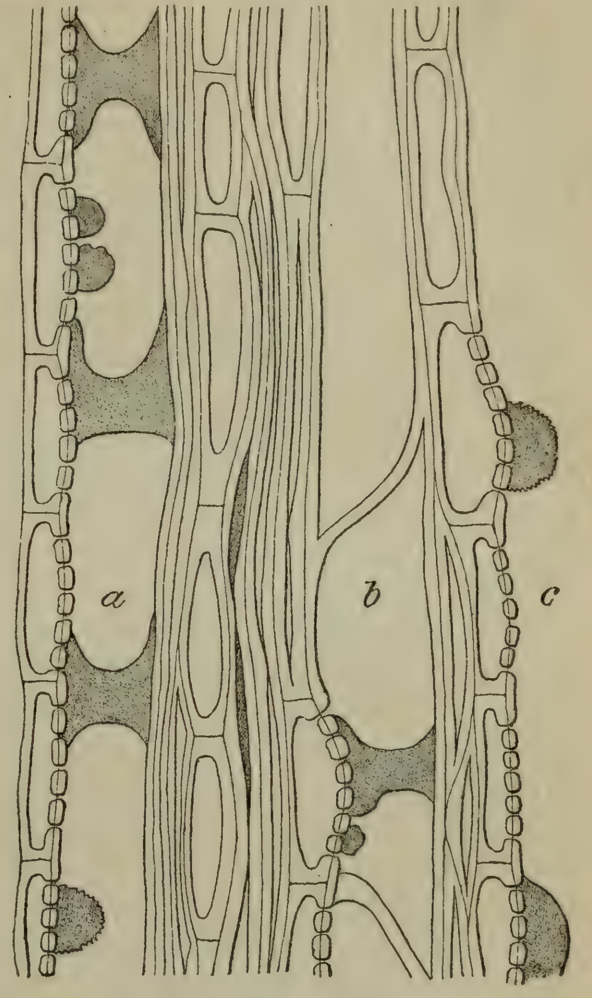


Fig. 4.

Bildung des Wundgummis in den Gefäßen des Holzes von Prunus avium. Radialer Längsschnitt durch verwundetes Holz, 5 Wochen nach der Verwundung eines einjährigen Zweiges. In die drei Gefäße a, b, c sind die durch dunklen Ton markirten Gummimassen aus den angrenzenden Parenchymzellen ausgetreten, teils in Form von Tropfen, teils das Lumen des Gefäßes quer anfüllend und verstopfend. 570 fach vergrößert. Nach Temme.

[1] Frank, Über die Gummibildung im Holze und deren physiologische Bedeutung. Berichte der deutsch. bot. Gesellsch. 18. Juli 1884. — Temme, Über Schutz- und Kernholz. Landwirtsch. Jahrbücher XIV, pag. 465.

selben Substanz, die nach allen Reaktionen, die sie aufweist, sich als Gummi charakterisiert; denn es ist unlöslich in Alkohol, Äther, Schwefelsäure, Kalilauge, dagegen wird sie durch Kochen mit Salpetersäure gelöst, wobei bekanntlich die Gummiarten in Oxalsäure und Schleimsäure übergeführt werden. Es ist ein in Wasser unlösliches, ja nicht einmal zu Schleim aufquellendes, sondern knorpelartige Konsistenz behaltendes Gummi, was gerade für die physiologische Funktion, die es hier zu leisten hat, von wesentlicher Bedeutung ist. Mit verholzten Zellmembranen hat es die Eigenschaft gemein, aus einer Fuchsinlösung den Farbstoff aufzuspeichern, sowie mit Phloroglucin und Salzsäure intensiv rote Färbung anzunehmen. Es ist daraus zu schließen, daß mit dem Gummi noch gewisse andre Stoffe gemengt sind, was ja auch die mehr oder weniger braune Farbe dieser Ausfüllungen beweist, die von demselben Farbstoff herzurühren scheint, welcher auch in den Membranen dieses Holzes vorhanden ist. Für alle untersuchten Laubhölzer übereinstimmend ist auch folgende Reaktion des Ausfüllungsstoffes: wenn man Schnitte durch solches Holz etwa eine Viertelstunde lang mit verdünnter Salzsäure und chlorsaurem Kali digeriert, so ist das Gummi noch nicht aufgelöst, aber in einen neuen, den Harzen verwandten Körper übergeführt, welcher in Wasser ebenfalls unlöslich, aber nun in Weingeist sehr leicht löslich ist; erst längeres Digerieren mit Salzsäure und chlorsaurem Kali bringt den Körper zum Verschwinden.

Wundgummi.

Man kann das Gummi, mit welchem hier die Lumina der Holzelemente ausgefüllt werden, als Wundgummi bezeichnen, denn wir haben nachgewiesen, daß im unverletzten Holze diese Substanz noch nicht vorhanden ist, daß man aber willkürlich die Bildung derselben bei den verschiedensten Laubhölzern regelmäßig hervorrufen kann, sobald man den Holzkörper verwundet, und zwar stets in der ganzen Ausdehnung der Wundfläche. Es tritt dies mit Sicherheit zu jeder Jahreszeit, am raschesten im Frühling und Sommer ein. Schon wenige Tage nach der Verwundung nehmen zunächst die Membranen des Holzes die bräunliche oder rötlichbraune Farbe an; sehr bald entstehen, zunächst in den Markstrahlzellen braune Gummikörnchen, zum Teil durch Umwandlung der dort etwa vorhandenen Stärkemehlkörner; etwas später erscheint auch im Lumen der Holzzellen und der Gefäße Gummi in Form von Tropfen, welche auf der Innenfläche der Membran ausschwitzen und bei den Holzzellen das enge Lumen sehr bald ausfüllen, bei den weiten Gefäßen erst bedeutend sich vergrößern müssen, ehe sie wie ein Pfropfen das Lumen derselben völlig verschließen; letzteres wird aber meistens wirklich erreicht, und man sieht auf Längsschnitten, daß in jedem einzelnen Gefäß oft nur an wenigen entfernten

Punkten oder auch nur an einer einzigen Stelle ein solcher Gummipfropfen sich gebildet hat, weshalb man denn auch auf einem dünnen Querschnitt nicht in jedem Gefäß eine Ausfüllung mit Wundgummi antrifft. Dieser Umstand lehrt, daß es bei dieser Gummibildung darauf ankommt, das Gefäßsystem des Holzkörpers an der Wundstelle luftdicht gegen die Außenluft zu schließen, was in jedem Gefäße offenbar schon durch einen einzigen vollständigen Gummipfropfen erreicht wird. Es leuchtet ein, daß um ein sicher schließendes und haltendes luftdichtes Verstopfungsmittel für die Lumina des Holzgewebes zu schaffen, die Pflanze in dem Wundgummi, was dessen physikalische Eigenschaften anlangt, ein vollkommen zweckentsprechendes Material bildet, da es von zäher plastischer Beschaffenheit und zugleich widerstandsfähig gegen die auflösenden Wirkungen des Wassers ist.

Thyllen.

Viele Laubhölzer bilden an den Wundstellen noch ein andres Verschlußmittel für die Gefäßlumina, welches nicht selten mit Wundgummi zusammen, manchmal auch fast allein vorkommt, nämlich die sogenannten Thyllen. Das sind, wie in der Pflanzenanatomie[1]) längst bekannt, blasenförmige, ziemlich dünnwandige Zellen, welche in das Gefäßlumen hineingetrieben sind und indem sie sich innerhalb des letzteren so lange vergrößern (Fig. 5), bis sie an einander und an die Gefäßwand anschließen, ebenfalls einen luftdichten Verschluß des Gefäßrohres herstellen. Es ist bekannt, daß die Thyllen als Auswüchse der an die Gefäße angrenzenden lebenden Parenchymzellen entstehen, welche durch die Tüpfel der Gefäßwand in den Innenraum des Gefäßes hineingetrieben werden. Es leuchtet ein, daß durch

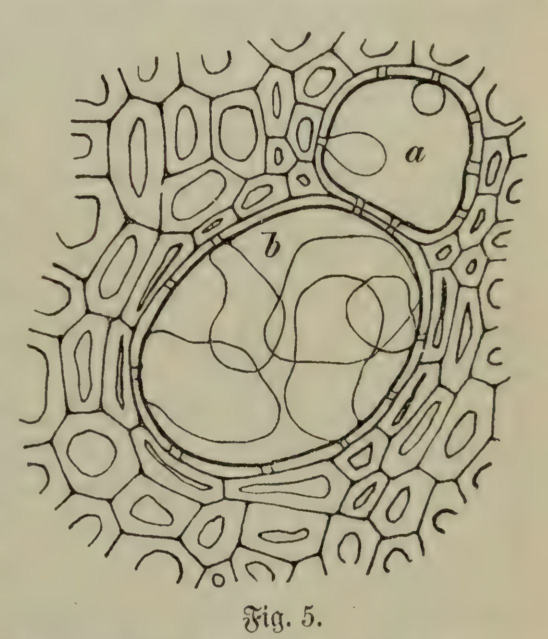


Fig. 5.

Bildung von Thyllen in den Gefäßen des Holzes von Balsamea abyssinica; man sieht, daß die Tyllen blasenförmige Ausstülpungen der dem Gefäße angrenzenden Parenchymzellen sind, a Anfangs-, b späteres Stadium. Nach Tschirch.

[1]) Über Bildung der Thyllen ist zu vergleichen: Botan. Zeitg. 1845, pag. 225. — Reess, daselbst 1868, pag. 1. — Unger, Sitzungsber. der Wiener Akad. 1867. — Böhm, daselbst 1867. — Molisch, daselbst 1888, pag. 264.

dieses Mittel der Verschluß mit einem Aufwand von weit weniger Material erzielt wird, als da wo massige Gummipfropfen dies zu leisten haben. In der That werden auch Thyllen hauptsächlich in solchen Hölzern gebildet, welche besonders weite Gefäße haben, wie bei der Eiche, beim Weinstock u. s. w.

Eigenschaften des Schutzholzes.

Für alles Holz von der hier beschriebenen Beschaffenheit habe ich mit Beziehung auf die physiologische Bedeutung, die demselben zukommt, den Namen Schutzholz eingeführt. In der That nimmt das Holz durch die hier beschriebenen, mikroskopisch sichtbaren Veränderungen gewisse neue physikalische Eigenschaften an, welche diese Bezeichnung mit Rücksicht auf das von dem Schutzholz bedeckte, normale Splintholz rechtfertigt. Durch meine und Temme's Untersuchungen ist festgestellt worden, daß bei der Umwandlung des Splintholzes in Schutzholz folgende physikalische Eigenschaften sich ändern. 1. Das specifische Gewicht[1]) wird größer; für Splint- und Schutzholz wurden nachstehende Werte bei folgenden Pflanzen befunden: Quercus pedunculata 0,946 : 1,130, Gleditschia triacanthos 0,202 : 0,657, Prunus avium 1,512 : 2,187, Pyrus malus 1,162 : 1,523, Iuglans regia 1,100 : 1,155. Die Bildung neuer Stoffe in den Membranen und Hohlräumen des Schutzholzes erklärt genügend die Vergrößerung des spezifischen Gewichtes desselben. 2. Die Durchlässigkeit für Luft wird aufgehoben. Wenn man Cylinder aus Holz in dem Ende einer Glasröhre befestigt und darin eine Wasserschicht auf das Holz auffetzt, so kann man, wenn man am andern Ende der Röhre die Saugpumpe wirken läßt, an dem Ausströmen von Luftblasen aus dem Holze die Wegsamkeit des letzteren für Luft prüfen. Besteht der Holzcylinder ganz und gar aus Splintholz, so genügt schon eine Verminderung des Luftdruckes um 5—8 cm Quecksilbersäule um Luft durch das Holz zu saugen. Besteht dagegen das äußere Ende des Holzstückes aus Schutzholz, so kommt selbst bei einer Saugkraft von 40—50 cm Quecksilbersäule keine Luft hindurch; sobald man aber, während die Saugpumpe fortwirkt, das aus Schutzholz bestehende Ende wegschneidet, so stürzt sofort ein ununterbrochener Blasenstrom aus dem oberen Ende hervor. 3. Die Durchlässigkeit für Wasser wird aufgehoben. Versucht man unter Benutzung einer Uförmigen Glasröhre, auf deren einem Schenkel das zu prüfende cylindrische Holzstück aufgekittet ist, Wasser mittels Quecksilberdruck durch das Holz zu pressen, so beweist das Austreten von Wassertropfen auf der nach oben gekehrten entgegengesetzten Schnittfläche des Holzstückes die wirkliche Wegsamkeit

---

[1]) Über die exacte Bestimmungsmethode, vergl. Temme l. c. pag. 475.

des letzteren für Wasser. Verwendet man zu dem Versuche ein nur aus normalem Splintholz bestehendes Stück, so genügt schon ein ganz geringer Druck um durch solches Holz Wasser hindurchzupressen, wie ja längst bekannt[1]) ist. Dagegen erwiesen sich Holzcylinder von Zweigen von Prunus avium, Pyrus malus, Iuglans regia, die am Ende nur von einer dünnen Schutzholzschicht begrenzt waren (z. B. bei Prunus avium von nur 4 mm. Dicke), vollkommen wasserdicht, selbst wenn der Druck bis auf 23,5 cm. Quecksilber gesteigert wurde, so daß eher das Herausgeschleudertwerden des das Holz haltenden Kautschukstopfens zu befürchten war. Die außerordentliche Widerstandsfähigkeit des Schutzholzes gegen Luft- und Wasserdurchtritt erklärt sich hinlänglich aus der oben beschriebenen Verstopfung der Lumina durch Wundgummi und Thyllen.

Bedeutung des Schutzholzes für die Pflanze.

Die physiologische Bedeutung dieser veränderten physikalischen Eigenschaften des Schutzholzes ist unschwer zu verstehen und danach bewährt das letztere seinen Namen im vollen Umfange. Wenn das lebensthätige Splintholz vor dem Zutritt von Außenluft und Wasser, die doch an einer Wunde desselben eindringen müßten, geschützt ist, so wird dasselbe den zerstörenden Einflüssen dieser Atmosphärilien um vieles länger Widerstand leisten. Offenbar besitzt auch das Schutzholz selbst eine viel größere Widerstandsfähigkeit gegen Fäulnis als das Splintholz. Dies ist nun besonders deshalb von großem Nutzen, weil die eigentliche Heilung der Wunde durch Überwallung, wie es der Natur nach nicht anders sein kann, erst nach längerer Zeit ihren Abschluß erreicht. Eine andre Bedeutung ist folgende. Der Holzkörper dient dem Aufsteigen des Wassers in der Pflanze. Soweit wir bis jetzt über die Ursachen des Saftsteigens unterrichtet sind, nimmt das Wasser seinen Weg in den Hohlräumen der Gefäße und Tracheiden, und das luftdichte Abgeschlossensein der Luft des trachealen Systems scheint eine der Bedingungen für das Zustandekommen des Saftsteigens zu sein, indem die Entstehung einer nach oben abnehmenden Tension der Binnenluft des Gefäßsystems mit zu den Ursachen des Saftsteigens gehören dürfte. Von diesem Gesichtspunkte aus erscheint also die luftdichte Verkittung aller in der Nähe der Wunde gelegenen und durch die letztere geöffneten und gefährdeten Gefäße und Tracheiden mit Gummipfropfen oder Thyllen als eine wichtige Schutzvorkehrung.

---

[1]) Vergl. z. B. Sachs, Arbeiten des botan. Instit. zu Würzburg. II. pag. 291 ff.

Nach diesen Betrachtungen wird nun die Zweckmäßigkeit der Schutzholzbildung in ihrem vollkommenen Lichte erscheinen, wenn man noch hinzunimmt, daß was die lokale Orientierung des Schutzholzes anbelangt, stets und an jeder beliebigen Wunde der Abschluß der gesammten Wundfläche erzielt wird. Wie bei den speziellen Verwundungsarten unten noch näher besprochen werden wird, folgt die Schicht des Schutzholzes der gesammten Oberfläche der Holzwunde, mag es eine Quer- oder eine Flachwunde sein, mag die Wundfläche eine ebene oder durch allerlei Unebenheiten unregelmäßige sein, mag sie sogar in Form von Spalten oder Höhlen in den Holzkörper eingreifen; und stets reicht die Schutzholzschicht an den Rändern der Wunde bis an die dort unter dem Schutze der natürlichen Rindenbedeckung befindlichen Teile des Holzkörpers (vergl. Fig. 6 und 7). So ist denn in der That der Abschluß des Holzkörpers durch die nach einer Verwundung eintretende Schutzholzbildung eine vollkommene.

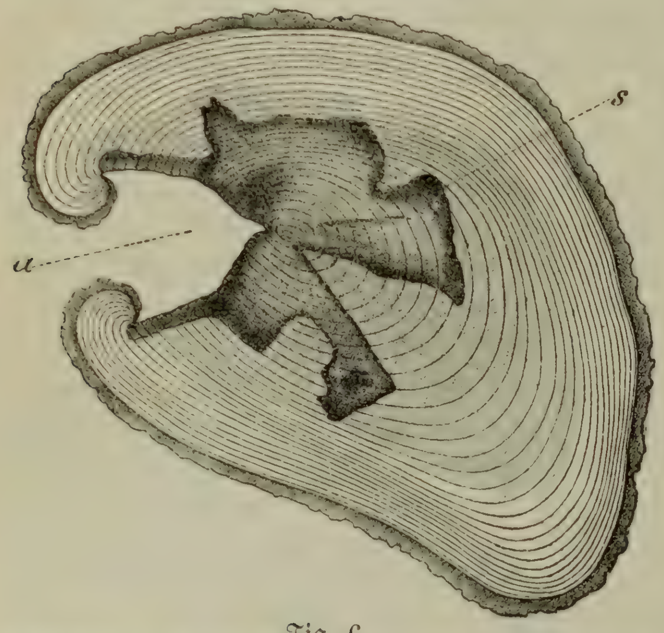


Fig. 6.
Schutzholz, auf dem Querschnitt eines Lindenstammes, der bei a eine tiefeinspringende, durch Überwallungswülste noch nicht geschlossene Wunde hat. Das durch Dunkelung gekennzeichnete Schutzholz s springt verschieden tief in das helle normale Holz ein, schließt dasselbe aber gegen die Wunde hin vollständig ab. Viermal verkleinert nach einem Originalstück meiner Institutssammlung von Temme entworfen.

Auch gegen andre gefährdete Stellen, die nicht eine offene Wunde darstellen, grenzt sich der Holzkörper der Pflanze durch Schutzholz ab. So wenn Zweige oder Teile der Rinde und des Splintes durch Frost oder Hitze oder durch parasitäre Beschädiger getötet worden sind; d. h. es bilden sich an der Grenze des lebenden Holzes in den Gefäßen ꝛc. dieselben Ausfüllungen mit Wundgummi oder Thyllen.

Kernholz. Auch das Kernholz ist, wie ich und Temme gezeigt haben, sowohl anatomisch wie physiologisch nichts andres als Schutzholz. Bekanntlich gehen die inneren älteren Jahrsringe des Holzkörpers der

Bäume regelmäßig in den mit vorstehendem Namen bezeichneten Zustand über, so daß immer nur eine mehr oder minder große Zahl der jüngsten Jahresringe als Splintholz erscheinen. Die Bildung des Kernholzes beginnt in einem gewissen vorgerückten Alter des Holzstammes, wenn derselbe innen noch völlig unversehrt ist; aber sie ist eben deshalb die rechtzeitig getroffene Vorbereitung für den Schutz des Splintes gegen innen, wenn, was früher oder später im höheren Alter endlich sicher eintritt, die ältesten inneren Partien des Holzes zerstört und Stämme und Äste dadurch hohl werden. In allen solchen Teilen findet man den Splint gegen das hohle

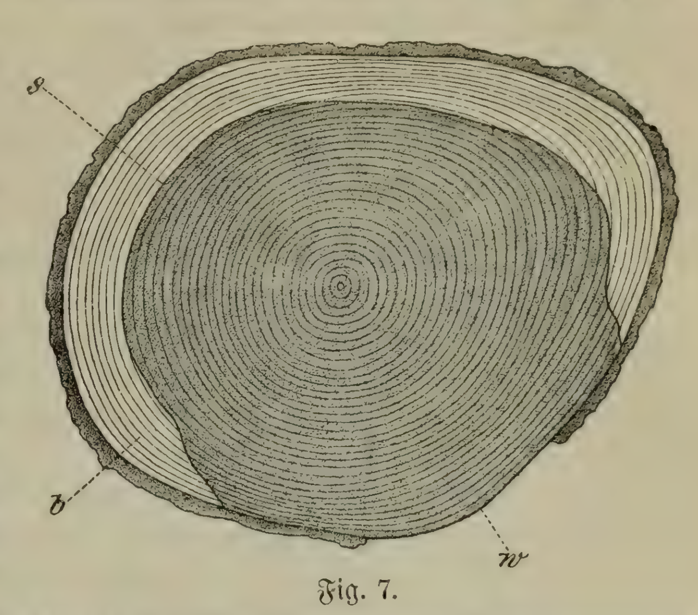


Fig. 7.

Schutzholz auf dem Querschnitt eines Zwetschenstammes, der bei w eine große Wunde hat. Die Dunkelung des Schutzholzes hat sich von dort aus bis s fortgepflanzt, so daß nur der halbe Splintteil b noch lebensthätig ist. Zweimal verkleinert. Nach einem Originalstück meiner Institutssammlung von Temme entworfen.

Stamminnere durch eine ununterbrochene Zone von Kernholz abgegrenzt. Schon frühere Beobachter, wie Sanio[1]), Böhm[2]), de Bary[3]), Gannersdorfer[4]) fanden im Kernholze Ausfüllungen der Gefäße mit einer gummi- oder harzartigen Substanz oder mit Thyllen, und Böhm sprach schon die Meinung aus, daß dies den Vorteil habe, daß dadurch die größten Gefäße alsbald wieder verschlossen und so das Pflanzeninnere vor der Einwirkung schädlicher äußerer Agentien geschützt werde. Ich und Temme haben gezeigt, daß im Kernholz genau dieselben anatomischen Veränderungen zu finden sind, wie im Schutzholz der nämlichen Baumspezies; insbesondere bestehen die Ausfüllungsmassen der Lumina aus demselben Gummi; dieses Kerngummi ist also mit dem Wund-

---

[1]) Botan. Zeitg. 1863, pag. 126.

[2]) Daselbst 1879, pag. 229.

[3]) Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane, pag. 524.

[4]) Beiträge zur Kenntnis &c. des Kernholzes. Sitzungsber. d. Wiener Akad. 1882. I, pag. 9.

gummi identisch; auch dieselben braunen oder rotbraunen Farbstoffe treten hier in den Membranen des Holzes auf wie in denen des Schutzholzes; bei gewissen Bäumen mögen auch Gerbstoffe und andre Verbindungen hinzutreten. Nach Molisch[1]) kommt als Ausfüllungsmasse der Gefäße auch manchmal kohlensaurer Kalk vor, so bei Ulmus, Celtis und Fagus. Temme hat nun auch nachgewiesen, daß auch bei der Umwandlung des Holzes in Kernholz die analogen physikalischen Veränderungen eintreten, wie bei der Bildung des Schutzholzes. Die Zunahme des spezifischen Gewichtes geht aus folgenden Bestimmungen hervor, welche das Verhältnis des spezifischen Gewichtes von Splint- und Kernholz angeben: bei Quercus pedunculata 0,946 : 1,604, bei Gleditschia triacanthos 0,202 : 1,574, bei Prunus avium 1,512 : 1,677, bei Pyrus malus 1,162 : 1,648, bei Juglans regia 1,100 : 1,177. Ebenso konstatierte er die gleiche Impermeabilität des Kernholzes gegen Luft und Wasser, wie beim Schutzholze. Die durchgängige Analogie, welche zwischen Schutz- und Kernholz besteht, ist durch eine bei mir von Praël[2]) ausgeführte vergleichende Untersuchung zahlreicher Holzpflanzen aus den verschiedensten Pflanzenfamilien klar gestellt worden. Bekanntlich sind die Kernhölzer vieler ausländischer Bäume, die sogenannten Farbhölzer, durch eigentümliche Färbungen ausgezeichnet, während der Splint auch hier die gewöhnliche helle Holzfarbe besitzt; es bilden sich hier gewisse Farbstoffe, welche den Membranen des Kernholzgewebes eingelagert sind. Praël hat nun für eine Reihe solcher Pflanzen nachgewiesen, daß auch ihr Schutzholz, welches sie regelmäßig nach Verwundung bilden, genau dieselbe Farbe wie das Kernholz derselben Spezies besitzt, indem hier die gleichen Farbstoffe auch in den Membranen des Schutzholzes entstehen. Dieser Nachweis wurde geliefert von Haematoxylon Campechianum, wo es ein tiefroter Farbstoff ist, welcher im Kernholz (Campechehol) wie im Schutzholz auftritt, von Caesalpinia Sappan, wo der gelbrote Farbstoff des Kernholzes (Sappanholz) auch im Schutzholze zu finden ist, ferner von Maclura aurantiaca (Gelbholz), Pistacia Lentiscus und Rhus Cotinus, wo die gleichen gelben Farbstoffe die Membranen von Kern- und Schutzholz tingieren. Auch der Verschluß der Lumina der Gefäße und Zellen des Holzes wurde von Praël allgemein konstatiert und auch in dieser Beziehung vollständige Homologie zwischen Schutz- und Kernholz erkannt. Es wurde festgestellt, daß es überhaupt drei verschiedene Mittel giebt, um diesen Verschluß der Lumina zu erzielen. Erstens die beiden schon

---

[1]) Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. Wien Bd. 84. 1881.

[2]) Vergleichende Untersuchungen über Schutz- und Kernholz der Laubbäume. Pringsheim's Jahrb. f. wissensch. Botanik XIX. 1888. Heft 1.

erwähnten, nämlich entweder Thyllen, die in vielen Farbhölzern den Verschluß bilden, oder Gummi, teils allein, teils mit Thyllen zusammen, und dieses nimmt dann bisweilen auch etwas von der Farbstoffen auf, welche die Membranen des betreffenden Schutz- und Kernholzes tingieren. Es kann aber auch eine harzartige Substanz, die also schon durch ihre Löslichkeit in Alkohol sich von Gummi unterscheidet, gebildet und gerade so wie sonst das Gummi und an Stelle desselben als Verschlußmittel der Gefäße verwendet werden. Als solcher Fall erwies sich Guajacum officinale, dessen Kernholz, das sogen. Guajak- oder Franzosenholz, seine braun- bis schwarzgrüne Farbe einem bräunlichen oder grünlichen Harz verdankt, mit welchem die Lumina des Gewebes erfüllt sind. Auch hier glückte es Praël, in dem Schutzholz, welches sich nach absichtlich angebrachten Wunden an lebenden Exemplaren dieser Pflanze bildet, die analoge Veränderung, d. h. die Entstehung des nämlichen Harzes in den Gefäßen des Schutzholzes nachzuweisen.

Kienholz.

Dem letzterwähnten Falle schließen sich nun auch die Koniferen an, wo vorzugsweise Harz als Ausfüllungsmittel der Tracheïden an Wundstellen benutzt wird. Bei den Koniferen ist das eine längst bekannte Erscheinung; derartiges Holz wird hier als Kienholz bezeichnet. Die mikroskopische Untersuchung lehrt, daß hier die Höhlungen aller Holzzellen mit Harz, beziehentlich Terpentinöl ausgefüllt sind, daß aber gleichzeitig auch die Zellmembranen mit Harz durchtränkt sind; dabei wird die Farbe des Holzes braun oder rot. In der That vertritt bei den Koniferen das Kienholz die Stelle von Kern- und Schutzholz. Es ist bekannt, daß bei der Kiefer und deren verwandten Arten und bei der Lärche regelmäßig das Kernholz, auch noch ehe eine Verletzung eingetreten ist, verkient. An allen Wundstellen der Nadelbäume verkient regelmäßig das entblößte Holz; dies ist besonders nach Wildschälen an Kiefer, Fichte, Lärche und Tanne, sowie im Holze der zum Zwecke der Harzgewinnung verwundeten Nadelholzstämme bekannt[1]); ebenso sind die im Stammholze steckenden abgestorbenen Stümpfe alter Äste regelmäßig verkient (Kienäste).

Die Frage der Entstehung des Wund- und Kerngummis wurde früher an denjenigen Holzpflanzen studiert, welche die besondere Eigentümlichkeit haben, daß bei ihnen infolge von Verwundung eine so große Menge von Gummi sich bildet, daß dasselbe in reichlichen Massen aus dem Pflanzenteile hervorquillt,

---

[1]) Vergl. Mohl, Gewinnung des venetianischen Terpentins. Botan. Zeitg. 1859, pag. 340; Ratzeburg, Waldverderbnis. II. pag. 36. Wigand, Desorganisation der Pflanzenzelle, Pringsheim's Jahrb. f. wissensch. Bot. III. pag. 165.

wie besonders beim Kirschbaum und bei andern Amygdalaceen. Von dieser profusen Gummibildung wird erst im nächstfolgenden Abschnitte die Rede sein; aber auch bei diesen Pflanzen kommt im Schutz- und Kernholz regelmäßig dieselbe Bildung von Gummi in den Gefäßen vor, die ja eben erst später von mir und Temme als eine allgemeine Erscheinung bei unsern Laubhölzern erkannt worden ist; bei den Amygdalaceen hat sie aber eben in Verbindung mit der profusen Gummosis schon früheren Beobachtern vorgelegen. Da war es zuerst Wigand[1]), welcher diese wie andre, ähnliche Secrete ganz und gar als Umwandlungsprodukte der Membranen der betreffenden Elementarorgane erklärte. Die genaueren Untersuchungen, welche später von mir[2]) und von Prillieux[3]) hierüber angestellt wurden, ergaben, daß die auf der Innenwand der Gefäße ausschwitzenden großen Gummitropfen jedenfalls ihrer Hauptmasse nach nicht für ein Umwandlungsprodukt des kleinen und dünnen Membranenstückes der Gefäßwand gelten können, auf welchem sie aufsitzen, sondern als eine Neubildung zu betrachten sind. Hierin haben mich die sehr genauen Beobachtungen des ersten Auftretens dieser Gummiausscheidungen auf den Gefäßwänden, die neuerdings Temme gemacht hat, nur noch mehr bestärkt, und ich stimme darin mit Prillieux völlig überein, daß eine ihrer chemischen Natur nach noch unbekannte Substanz, welche zur Bildung des Gummis in den Gefäßen und Holzzellen dient, aus den angrenzenden lebensfähigen Zellen durch die Membran in das Lumen jener Organe diffundiert und hier zuerst in Form ganz kleiner Gummitröpfchen wie eine Ausschwitzung auf der innern Fläche der Membran auftritt; durch Zufuhr neuen Materiales vergrößert sich der Gummitropfen endlich bis zur Erfüllung des ganzen Durchmessers des Gefäßes. Die Membran des letzteren bleibt dabei unverändert. In der That sind auch die Stellen der Gefäßmembran, auf welchen die Gummitropfen ausgeschieden werden, immer solche, welche an eine Markstrahlzelle oder an eine Zelle des die Gefäße begleitenden Holzparenchyms angrenzen, also an Zellen des Holzkörpers, welche lebensthätiges Protoplasma führen. Die Bildung des Schutz- und Kernholzes ist damit klar als eine Lebensthätigkeit des Holzes bezeichnet.

Auch die Bildung des Harzes im Kienholz dürfte vielleicht als eine Lebensthätigkeit des verwundeten Holzes anzusehen sein. Die Frage wird uns unten bei der Entstehung der Harzsekrete näher beschäftigen.

Was die eigentliche Ursache der Schutz- und Kernholzbildung anlangt, so sind wir darüber sehr wenig unterrichtet. Daß Verwundung Veranlassung dazu giebt, ist ja klar. Aber da die betreffenden Bildungen sich auch im Kernholze schon einstellen, noch ehe eine merkliche Verwundung eingetreten ist, so müssen auch noch andre Faktoren dabei mitspielen. Immerhin ist es von Interesse, daß Praël (l. c.) nachgewiesen hat, daß die Bildung des Schutzholzes unterbleibt oder doch sehr verzögert wird, wenn man die gemachte Holzwunde bei Zeiten mit einem künstlichen Verschlußmittel, nämlich durch Verschmieren mit einem luft- und wasserdichten Kitt gegen die Außenwelt abschließt. Im Dezember angestellte Schnittwunden erwiesen sich im Frühjahr durch Schutzholz geschlossen, wenn sie nicht verkittet waren, während an ver-

---

[1]) l. c. pag. 115.

[2]) Über die anatomische Bedeutung und Entstehung der vegetab. Schleime. Pringheims Jahrb. f. wissensch. Bot. V. pag. 25.

[3]) La formation de la gomme etc. Ann des nat. 6. sér. Bot. T. I, pag. 176.

kitteten Wunden dies unterblieben war; bei der Birke wurde daher durch den andringenden Blutungssaft im Frühjahr der Kitt von solchen Wunden aufgehoben, während die nicht verkitteten gleichalten Wunden keinen Blutungssaft austreten ließen, also ihre Gefäße schon gegen den letzteren unwegsam gemacht hatten. Auch für die Thyllen ist von den oben über diese Organe genannten Autoren erkannt worden, daß Verwundungen die gewöhnlichsten Veranlassungen zur Bildung derselben sind, womit freilich auch noch nichts über den ursächlichen Zusammenhang aufgeklärt ist.

II. Sekretionen an Wunden.

Sekretionen an Wunden.

Bei manchen, aber keineswegs bei allen Pflanzen, beobachten wir die Erscheinung, daß nach jeder Verletzung auf oder in der Nähe der Wunde eine flüssige oder halbflüssige Substanz ausgeschieden wird, welche die Wunde überzieht und eben deshalb, sowie wegen der chemischen und physikalischen Eigenschaften, die diese Sekrete besitzen, als ein natürliches Schutzmittel der Wunde, als ein Wundbalsam funktioniert, denn diese Überzüge bilden in der That eine für Luft und Wasser nicht oder sehr schwer durchdringbare Wundendecke.

Vorgebildete Secrete.

Viele Pflanzen enthalten ein solches Sekret schon fertig vorgebildet, so daß dasselbe jederzeit bereit ist, bei eintretender Verletzung an der Wunde hervorzufließen und dieselbe einzuhüllen. Es handelt sich hier um die zahlreichen Pflanzen, welche sogenannte Sekretbehälter, und um diejenigen, welche Milchsaftgefäße besitzen. Die Beschreibung dieser normalen Organe gehört in die Pflanzenanatomie; es ist hier nur hervorzuheben, wie sehr dieselben dem Zwecke entsprechen, ein sicheres und taugliches Wundbedeckungsmittel zu liefern. Die Sekretbehälter stellen meist lange Kanäle dar, welche kontinuierlich in der Längsrichtung durch Wurzeln, Stämme und Blätter sich erstrecken, in den Stämmen und Zweigen, vorzugsweise in der Rinde, bei manchen Pflanzen auch im Holze sich befinden, so daß bei jeder Verletzung irgend eines Teiles der Pflanze auch einige dieser Behälter geöffnet werden und ihren Inhalt über die Wunde ergießen. Die Milchsaftgefäße stellen ein eigenes Gefäßsystem in der Pflanze dar, welches durch zahlreiche Verzweigungen und Anastomosen in sich zusammenhängt und ebenfalls vorwiegend in der Rinde der Stengel und Wurzeln, sowie durch die ganze Blattmasse verläuft, weshalb, wenn die Pflanze an irgend einem Punkte verletzt wird, wie bekannt sofort Tropfen des milchartigen Inhaltes hervorfließen. Die Art des Sekretes in den Sekretkanälen ist für die einzelnen Pflanzenarten charakteristisch. Bei den Koniferen ist es allgemein ätherisches Öl oder Harz, eine Substanz, deren konservierende und antiseptische Eigenschaften wohlbekannt sind und die wir deshalb auch künstlich

mit Vorteil zum Verschließen der Wunden der Pflanzen benutzen. Sehr viele ausländische Bäume, die wiederum ganzen Pflanzenfamilien angehören, besitzen ähnliche Sekretionskanäle, in denen eigentümliche ätherische Öle, Harze, Balsame, Gummiharze oder Milchsäfte enthalten sind; bei einigen Pflanzen führen solche Kanäle Gummi, wie bei den Marattiaceen, Cycadeen und Sterkuliaceen. Alle diese Stoffe geben einen sehr guten Wundverschluß, und das gleiche gilt von allen Milchsäften, wenn sie auf den Wunden eintrocknen. Die hier vertretene Ansicht, wonach die Bedeutung aller dieser Sekrete für die Pflanze darin liegt, gegebenenfalls als ein natürlicher Wundbalsam in Wirksamkeit zu treten, zum Teil sogar als Abschreckungsmittel gegen solche Tiere zu dienen, welche die Pflanze zu verletzen drohen, wobei der starke Geruch und die giftigen Eigenschaften mancher dieser Sekrete von Bedeutung sind, ist zuerst von de Vries[1]) in bestimmter Weise ausgesprochen worden.

Wundsekrete.

Bei manchen Pflanzen wird aber ein solches Sekret auch erst gebildet als Folge der Verwundung, indem entweder die der Wunde benachbarten, schon vorhandenen Gewebe desorganisiert und in die betreffende Sekretsubstanz umgewandelt werden, oder indem das Cambium der betreffenden Holzpflanzen in der Nähe der Wunde gewisse Gewebekomplexe von eigentümlichen Zellen bildet, nämlich anstatt normalen Holzgewebes ein abnormes Holzparenchym, dessen Zellen sehr bald unter Desorganisation in die Sekretsubstanz sich umwandeln. Der Erfolg ist dann immer der, daß die in gewisser Entfernung hinter der Wunde liegenden gesunden Gewebe durch die Sekrete, welche nicht bloß die direkt verwundeten Gewebe imprägnieren, sondern durch ihren meist reichlichen Ausfluß auch äußerlich die Wunde bedecken, geschützt werden. Die auf diese Weise erst in Folge der Verwundung sich bildenden Sekrete kann man als eigentliche Wundsekrete bezeichnen. Es ist nicht immer ohne weiteres entscheidbar, ob ein aus einer Wunde fließendes Sekret den vorgebildeten Sekretbehältern entstammt oder ein solches echtes Wundsekret darstellt, weil bei manchen Pflanzen beide Arten von Sekretionen vorkommen.

Es brauchen auch nicht immer eigentliche Verwundungen zu sein, um die Bildung solcher Wundsekrete einzuleiten. Auch wenn eine Stelle des Stammes oder ganze dünnere Zweige eines Baumes durch irgend einen anderen schädlichen Einfluß, etwa durch Frost oder Dürre oder durch Nahrungsmangel oder durch parasitäre Ursachen getötet oder zum Tode geschwächt sind, so kann der noch lebende Teil

---

[1]) Landwirtsch. Jahrbücher. X., pag. 687.

der Pflanze mehr oder weniger weit rückwärts von dem leidenden Teile zu solchen abnormen Sekretbildungen übergehen, gleichsam um rechtzeitig als Vorbeuge bei dem sicher drohenden Verluste die andern Teile der Pflanze mit diesem Schutzmittel zu versorgen. Man hat daher vielfach solche abnorme Secretionen als besondere Krankheiten angesehen, indem man z. B. den Gummifluß als „Gummikrankheit“, den Harzfluß als „Harzkrankheit“ bezeichnete, dabei hat man aber die bloße Folge der Krankheit, nämlich die Reaktion der lebenden Pflanze gegen dieselbe, mit der Krankheit selbst verwechselt. Es muß bestimmt betont werden, daß alle diese abnormen Sekretionen keine specifische Krankheit vorstellen, sondern die Folgeerscheinungen der allerverschiedensten Beschädigungen und Leiden der Pflanze sein können.

Harzfluß der Koniferen.

I. Harzfluß, Resinosis der Koniferen. Alle Verwundungen der holzigen Teile der Koniferen sind mit Ansammlung oder Ausfluß von Harz verbunden, und die Gewinnung des Harzes und Terpentins beruht denn auch immer darauf, daß man die Bäume absichtlich verwundet. In der Pflanze entsteht das Sekret in der Form von Terpentinöl, einer Verbindung aus der Reihe der Kohlenwasserstoffe. Durch Einwirkung des Sauerstoffs der Luft oxydiert es sich allmählich zu Harz, welches also eine ternäre Verbindung ist und einen festen Körper darstellt. Daher sind diese Sekrete eine wechselnde Mischung von Terpentinöl und Harz, welche Terpentin heißt und deren größere oder geringere Dickflüssigkeit von dem Mengungsverhältnisse abhängt. Aus frischen Wunden fließt reines Terpentinöl oder ein hauptsächlich aus solchem bestehender Terpentin; der Überzug, den es auf der Wunde bildet, erhärtet mit der Zeit immer mehr zu Harz.

Normale Harzbehälter.

Das sofort nach der Verwundung ausfließende Terpentin stammt natürlich aus den durch die Wunde geöffneten normalen Harzbehältern. Von diesen kennen wir bei den Koniferen hauptsächlich folgende Arten.

In der primären Rinde finden sich allgemein senkrechte und auf weite Erstreckung verlaufende Harzkanäle; diese sind es, aus denen beim Durchschneiden der Rinde schon des einjährigen Triebes das Harz in größeren oder kleineren Tropfen ausfließt. Bei der Weißtanne schwellen diese Kanäle an einzelnen Stellen, besonders da, wo mehrere zusammentreffen, zu großen mit Harz gefüllten Blasen an, weshalb an der inneren Wand der letzteren die Mündungen von zwei bis vier Harzkanälen sich finden, die sowohl von oben als von unten einmünden. Da bei der Tanne die Rinde bis ins mittlere Alter glatt und unversehrt bleibt, so erhalten sich auch die Harzkanäle und ihre Erweiterungen ebenso lange; später aber werden sie infolge der Borkebildung mit abgestoßen, weshalb nur mittelwüchsige Tannen den Straßburger Terpentin liefern, der aus jenen Harzbehältern stammt. Wie diese sogenannten Harzbeulen, linsenförmige mit Harz gefüllte Hohlräume in der Rinde, entstehen, ist bis jetzt nicht untersucht worden. Da sie aber nach der einstimmigen Aussage Mohl's[1]), Schacht's[2]) und Ratzeburg's[3]) erst an mittelwüchsigen

[1]) Über die Gewinnung des venetianischen Terpentins. Bot. Zeitg. 1859, pag. 341.

[2]) Der Baum, pag. 223.

[3]) Waldverderbnis, II. pag. 7.

Tannen sich bilden, so müssen sie wohl aus einer Desorganisation von Rindengewebe hervorgehen, und es bleibt eben noch die Frage zu entscheiden, ob sie infolge irgend einer Verwundung entstehen; nach Ratzeburg's Bemerkung sollen Tannen nie Terpentin geben ohne krank zu sein. Ferner finden sich normal in der Rinde vieler Koniferen kleine isolierte kugel- oder linsenförmige Harzlücken, die nach Mohl meist erst im mehrjährigen Triebe entstehen, sich auch mit der Zeit etwas vergrößern, aber wegen ihrer geringen Ausdehnung niemals Harzfluß hervorbringen sollen. Endlich giebt es in der Rinde auch noch horizontale Harzkanäle, welche in radialer Richtung und unter einander nicht im Zusammenhange stehen; sie befinden sich in der Mitte der in die Rinde sich fortsetzenden breiten Markstrahlen und sind die unmittelbare Verlängerung der in den größeren Holzmarkstrahlen befindlichen Harzkanäle. Sie kommen bei der Fichte, Lärche und Kiefer vor und sind besonders die Ursache der Bedeckung der Schälwunden mit Harz.

Im Holze der Nadelbäume sind die verbreitetsten harzabsondernden Organe die vertikal verlaufenden Harzkanäle; sie verursachen hauptsächlich den Harzausfluß an Querwunden des Holzes. Die weitesten und zahlreichsten besitzt die Schwarzkiefer, demnächst die gemeine Kiefer und die Lärche, viel spärlicher die Fichte. Außerdem kommen im Holze, wie erwähnt, auch horizontale Harzkanäle vor, welche in der Mitte der großen Markstrahlen liegen und wie diese in radialer Richtung laufen; sie sind den meisten, auch die Tanne nicht ausgenommen, eigen.

Profuse Harzbildung.

Es ist nun aber die Frage, ob die oft sehr bedeutenden Quantitäten von Harz, welche die Nadelbäume nach Verwundung von sich geben, nur aus den schon vorhandenen Harzkanälen, oder teilweise auch aus einer erst infolge der Verwundung eingetretenen Neubildung von Harz stammen. Mohl, dem sich in dieser Beziehung N. J. C. Müller[1]) angeschlossen hat, vertrat die erstere Ansicht. Nach seiner Vorstellung müsse sich das Harz in den durch die Verwundung geöffneten Harzkanälen, da dieselben sich weithin in der Pflanze erstrecken, auch aus entfernteren Teilen des Baumes dahin ziehen und sich auf der Wunde ansammeln. Auch das Kienigwerden des verwundeten oder absterbenden Nadelholzes, von welchem oben schon die Rede war, erklärt sich Mohl aus einem Übertritt von Harz aus entfernteren Teilen des Baumes, besonders aus der Rinde und aus dem Splinte durch die horizontalen Harzkanäle der Markstrahlen, indem die Zellmembranen für Harz durchdringbar sind und der weichende Saftgehalt des Kernholzes oder des durch Verwundung getöteten und vom Zufluß des Nahrungssaftes abgeschnittenen Holzes Raum für den Eintritt von Harz bietet. Den Widerspruch, der in der Thatsache zu liegen scheint, daß nach Harzentziehung das Holz eines Baumes verkient, sucht Mohl durch die Bemerkung zu beseitigen, daß bei so äußerst harzreichen Bäumen durch die Operation nur ein Teil des Harzes entzogen werde, und der überschüssige andre Teil trotzdem die absterbenden Holzschichten infiltrieren könne.

Neubildung von Harz nach Verwundung.

Es ist aber unzweifelhaft, daß bei Verwundungen sowie auch bei andern Leidenszuständen der Koniferen eine Neubildung von Harz, also eine Wundsekretion im obigen Sinne eintritt, was durch eine ganze Reihe von Beobachtungen begründet wird. Hier sind zunächst die vielseitigen Beobachtungen Ratzeburg's bei Verwundungen durch Schälen, Fraß 2c. zu erwähnen. Leider

[1]) Pringsheim's Jahrb. f. wissensch. Botanik 1866, pag. 387.

thut aber die anatomische Ungenauigkeit derselben ihrer Verwertung für unsre Frage Eintrag; es ist hier oft nur von „Harzreichtum" der Holzpartien die Rede, wobei es ungewiß bleibt, ob Verkienung oder Bildung eigener Harzbehälter gemeint ist; und wo die letzteren ausdrücklich genannt werden, ist über ihre anatomische Natur fast nichts Näheres zu erfahren. Sicher sind aber wenigstens zwei bemerkenswerthe Thatsachen daraus zu entnehmen. Erstens, daß in dem alten, schon vorher vorhanden gewesenen Holze infolge der Verwundung wirkliche Harzkanäle in vermehrter Anzahl und von größerer Weite entstehen. Nach dem Fraß des Fichtenrindenwicklers (**Tortrix dorsana**) bilden sich nicht bloß in den Überwallungsschichten, sondern auch in den älteren Jahresringen viel Harzkanäle[1]); dieselbe Rückwirkung auf frühere Jahresringe wird beim Fraß der Kiefernmotte (**Tinea sylvestrella**) angegeben[2]). Auch in der Rinde der Lärche soll bei den Angriffen der Rindenlaus (**Chermes laricis**) eine vermehrte Bildung von Harzlücken eintreten[3]). Zweitens fand Ratzeburg fast allgemein, daß die nach einer Verwundung sich bildenden Holzschichten mehr Harzkanäle als im normalen Zustande enthalten. Dies zeigt sich im Holze der Überwallungen, welche an den Rändern der Schälwunden entstehen, besonders bei der Lärche, wo sich bisweilen sehr weite und auch in vertikaler Richtung lange, mit Harz erfüllte Hohlräume bilden[4]); auch in der Rinde dieser Überwallungen fanden sich Harzbeulen, größere, mit Harz gefüllte Räume, ähnlich denen der Tannenrinde. Dasselbe gilt von den Holzschichten der Überwallungen, die sich an den Fraßstellen der Kiefernmotte, sowie des Fichtenrindenwicklers[5]) bilden, desgleichen von der Rinde der gallenartigen Holzanschwellungen der Lärche, die durch den Fraß des Lärchenrindenwicklers (**Tortrix Zebeana**)[6]) hervorgebracht werden. Auch der Verlust dünnerer Zweige hat für die davon betroffenen Äste meistens den Erfolg, daß in den nach der Verwundung sich bildenden, meist schwachen Holzringen ungewöhnlich viel Harzkanäle erscheinen, die sogar manchmal die ganze Breite des Jahresringes einnehmen. Solches berichtet Ratzeburg[7]) von den durch Wild verbissenen besenförmigen Lärchen, von den durch Nonnenfraß beschädigten Fichtenzweigen[8]) und von der Kiefer nach dem Fraße der Forleule[9]). Die Beziehung zur Verwundung prägt sich dabei sogar darin aus, daß an einseitig entästeten Zweigen nur in den an der entästeten Seite liegenden schmalen Jahresringen Harzreichtum eintritt. Besonders wichtig ist auch das Verhalten der sonst im Holze harzarmen Tanne, bei welcher nach Schälen im Überwallungsringe, sowie in den Holzschichten, die sich nach dem Verbeißen durch Wild und nach dem Fraße des Tannenwicklers (**Tortrix histrionana**) in den beschädigten Ästen bilden, in großer Anzahl wirkliche Harzkanäle auftreten sollen[10]).

---

[1]) l. c. I. pag. 262.
[2]) l. c. I. pag. 197.
[3]) l. c. II. pag. 64.
[4]) l. c. II. pag. 76.
[5]) l. c. I. pag. 197 und 262.
[6]) l. c. II. pag. 69.
[7]) l. c. II. pag. 66.
[8]) l. c. I. pag. 234.
[9]) l. c. I. pag. 154.
[10]) l. c. II. pag. 18, 26, 33.

Wenn neue Harzkanäle in der Pflanze entstehen, so kann das in ihnen enthaltene Harz nur durch eine Neubildung entstehen. Das geht schon aus dem hervor, was wir über die Entstehung der normalen Harzkanäle der Koniferen wissen. Wie ich gezeigt habe[1]), giebt es zwei verschiedene Entstehungsarten derselben: schizogen und lysigen. Das erstere trifft zu für die eigentlichen Harzkanäle, welche regelmäßig in der primären Rinde sowie im Holze, besonders bei der Kiefer auftreten, und beruht darauf, daß gewisse Zellen ohne zu verschwinden, auseinander weichen, wobei der dadurch entstehende Hohlraum sich mit Terpentinöl füllt; die auseinander gewichenen Zellen, welche den Kanal dauernd auskleiden, sind die Sekretionsorgane des Terpentinöls; sie enthalten selbst nichts von diesem Stoffe, sie bilden ihn also erst aus anderem ihnen zu diesem Zwecke zugeleiteten Material und ihr Produkt nimmt erst beim Austritte aus diesen Zellen ins Innere des Kanals die definitive Form des Terpentinöls an. Bei der lysigenen Entstehung von Harzkanälen, die ich in der Rinde älterer Stämme von Thuja occidentalis nachgewiesen habe, werden gewisse Zellen wirklich aufgelöst, so daß nun an Stelle der verschwundenen Zellen ein Sekretbehälter steht. Gruppen von Parenchymzellen des Phloëms und der Rindenstrahlen werden reicher an protoplasmatischem Inhalt, sowie an Stärkekörnchen, zugleich treten Tröpfchen von Terpentinöl im Inhalte auf; letzteres vermehrt sich, während die übrigen Bestandteile des Zellinhaltes schwinden; zuletzt werden auch die Zellmembranen aufgelöst und sehen dabei wie angefressen aus. Die Höhle kann sich erweitern, indem dieser Prozeß im umgebenden Gewebe der Rinde fortschreitet. Den gleichen Vorgang sah ich stattfinden, wenn, wie es bisweilen geschieht, die normalen Harzkanäle im Holze der Kiefer sich erweitern zu größeren harzführenden Höhlen; hier erfüllen sich die den Kanal umgebenden Holz- und Markstrahlen mit Harz, und darauf verschwinden auch ihre Membranen. Ferner hat Dippel[2]) nachgewiesen, daß lysigen auch die Harzgänge im Holze der Tanne entstehen, welche wohl schon im normalen Zustande allgemein, wenn auch nicht in großer Anzahl vorhanden zu sein scheinen. Es finden sich hier einzelne Harzzellen, d. i. parenchymatische mit Harz gefüllte Zellen, ferner Harzzellengruppen, d. i. größere Gruppen gestreckter harzführender Holzparenchymzellen, welche stets von kürzeren stärkeführenden Holzparenchymzellen begleitet werden; endlich echte Harzgänge, welche ebenfalls von stärkeführendem Holzparenchym umgeben sind und stets an einen Markstrahl angrenzen. Ihre Entstehung beruht darauf, daß anfangs eine Gruppe stärkeführender Holzparenchymzellen vorhanden ist, deren mittlere unter Harzbildung sich auflösen, indem zuerst im Inhalte an die Stelle der im Winter vorhandenen Stärkekörnchen Harz tritt und darauf auch die Membranen der harzerfüllten Zellen verschwinden. Nach Möller[3]) sollen die Harzkanäle im Holze der Schwarzföhre lysigen entstehen, indem Gruppen der von der Cambiumschicht gebildeten Zellen unverholzt und dünnwandig bleiben und dann in Harz sich auflösen; ob hier jedoch nicht eine Verwechselung mit schizogenen Harzkanälen, wie sie ja im Holze der gemeinen Kiefer sich finden, vorliegt? Nach Höhnel[4]) sollen lysigen in der fertigen Korkschicht von Abies canadensis Harzbehälter entstehen, also durch Verharzung der Korkzellen. Bei

[1]) Beiträge zur Pflanzenphysiologie, pag. 119—123.

[2]) Zur Histologie der Koniferen. Bot. Zeit. 1863, Nr. 35, Taf. X.

[3]) Beiträge zur Anatomie der Schwarzföhre. Mitteil. aus d. forstl. Versuchswesen Österreichs, von Seckendorf, III, pag. 167.

[4]) Botan. Zeitg. 1882, Nr. 10.

der lysigenen Entstehung von Harzbehältern stammt das Harz zum Teil aus einer Umwandlung der Zellmembranen und der etwa vorhandenen Stärke, weil eben diese festen Bestandteile der betreffenden Zellen dabei verschwinden. Aber es ist unmöglich, daß diese das ganze Material des dabei entstehenden Öles oder Harzes liefern könnten, besonders da es oft nur sehr dünnwandige und stärkearme Zellen sind, welche dem Harzbehälter den Ursprung geben; es muß eben auch hier ein mehr oder minder großer Teil des Harzes aus einem besonders zu diesem Zwecke zugeströmten Nahrungsmaterial entstanden sein. In dieser Überzeugung bestärkt uns außerdem noch im höchsten Grade die Erwägung, daß das Terpentinöl die kohlenstoffreichste Substanz des Baumes ist, daß also auf den Kohlenstoffgehalt der gewöhnlichen Pflanzensubstanz, aus welcher dasselbe entstehen könnte und entstehen muß, also z. B. der Kohlenhydrate, berechnet, ein Gewichtsteil Terpentinöl einem viel mal größeren Gewichtsteil irgend eines andern Pflanzenstoffes äquivalent ist.

Wie diejenigen Harzbehälter entstehen, welche in den angegebenen Fällen nach Verwundungen in größerer Anzahl sich bilden, ist nun zwar noch nicht verfolgt worden. Aller Wahrscheinlichkeit nach werden auch sie auf lysigene Art gebildet. Es kann nach dem Vorhergehenden nicht zweifelhaft sein, daß ihre Entstehung immer mit einer Neubildung von Harz verbunden ist. Auch bei jeder Verkienung des Holzes könnte eine Neubildung von Harz beteiligt sein, worüber jedoch nichts entschieden ist.

Es kommen aber auch Fälle vor, wo die Harzerzeugung durch Bildung eines abnormen Zellgewebes eingeleitet wird, welches dann unter Auflösung seiner Zellmembranen in Harz degeneriert, so daß sich mitten im unveränderten Holze ein mit Harz erfüllter Raum bildet, dessen Form und Größe durch diejenigen des Komplexes des abnormen Gewebes bestimmt sind. Auf diese Weise entstehen nämlich die sogenannten Harzdrusen oder Harzgallen, die keineswegs regelmäßig, sondern nur ausnahmsweise im Holze der Koniferen gefunden werden. Man versteht darunter sehr große harzerfüllte Lücken, die beim Zerspalten des Holzes zum Vorschein kommen. Sie finden sich bis zur Größe und Dicke eines Thalerstückes und wohl auch noch größer und liegen innerhalb eines einzigen Holzringes im Frühjahrsholze, so daß das Herbstholz desselben ebenso normal ist, wie dasjenige des nächstälteren angrenzenden Jahresringes. Das was im Hohlraum nicht mit Harz erfüllt ist, wird von einem abnormen Holzparenchym eingenommen. Dieses ist besonders ringsum an den Rändern in Menge vorhanden; es besteht aus lauter ungefähr isodiametrischen aber ganz unregelmäßig gestalteten und völlig ordnungslos liegenden verholzten Parenchymzellen, von denen die am weitesten nach der Mitte der Harzgalle gelegenen alle Übergänge der Desorganisation in Harz zeigen, d. h. sie sind mit solchem erfüllt und ihre Membranen mehr oder weniger in der Auflösung begriffen. Dagegen zeigt das Holz in der nächsten Umgebung und besonders auch vor der Harzdruse gegen das Herbstholz hin, die normale Zusammensetzung aus Holzfasern, welche in radiale Reihen geordnet sind. Von dieser Beschaffenheit beobachtete ich die Harzgallen im Fichtenholze; Ratzeburg[1]) fand sie auch bei der Tanne und auch Dippel[2]) erwähnt die Harzgallen bei der Tanne als eine abnorme Erscheinung. Der Entstehung dieser Harzdrusen liegt also eine abnorme Zellbildungsthätigkeit des Cambiums zu Grunde,

---

[1]) l. c. II. pag. 4.

[2]) l. c. pag. 254.

welche an der betreffenden Stelle statt normalen Holzes größere nur aus einem Holzparenchym bestehende Gewebekomplexe erzeugt. Ob Harzdrusen in einer direkten oder indirekten Beziehung zu einer stattgehabten Verwundung stehen, darüber fehlt es an Erfahrungen. Ich fand sie sowohl in verkientem Holze, als auch ringsum von normalen, nicht kienigen Holzschichten eingeschlossen. — Mit dieser Erscheinung nahe verwandt sind die sogenannten **Auslösungen des Holzkörpers** der Koniferen. Bisweilen löst sich an gespaltenem Holze und selbst an Schiffsmasten ein runder, glatter Kern vollständig aus dem Holze aus. **Hallier**[1]) hat nachgewiesen, daß hier ein Jahresring ringsum in eine abnorme Bildung von Holzparenchym übergegangen und in letzterem Desorganisation in Harz eingetreten ist. Ich kann dies von einem Fichtenholz bestätigen. Der sechste Jahresring zeigte hier die ersten Schichten seines Frühjahrsholzes ganz aus kurzzelligem Holzparenchym bestehend, welches unter Harzbildung im Zerfall begriffen war. Der aus den fünf ältesten Jahresringen bestehende Kern löste sich als ein runder, auf der ganzen glatten Oberfläche mit Harz überzogener Cylinder heraus. Auch das Rohr hatte inwendig eine ziemlich glatte, etwas harzende Oberfläche. Der übrige Teil des Jahresringes bestand aus normalem Holz, ebenso war das Herbstholz des letzten Kernringes normal. Über die Ursache dieser Bildung verbreitet vielleicht der Umstand einiges Licht, daß der Kern einen Quirl von Aststumpfen trug, welche in dem darauf liegenden jüngeren Holze steckten und wie gewöhnlich verkient und von einer Harzschicht umhüllt waren; und es ist eben von Bedeutung, daß der letzte Jahresring der Aststumpfe dasselbe Alter hatte wie derjenige des Kernes, also die Oberfläche des Kernes die direkte Fortsetzung derjenigen der Aststumpfe war. Die Harzbildung hat also mutmaßlich als die gewöhnliche Erscheinung am Quirl der Aststumpfe begonnen, während die Bildung von Holzparenchym und die Verharzung desselben im Mutterstamme nachgefolgt zu sein und von der Basis der Stumpfe aus über diesen sich verbreitet zu haben scheint.

Harz- und Gummiharzfluß der Nicht-Koniferen.

II. Harz- und Gummiharz-Ausscheidungen andrer Pflanzen. Auch die Harze und Gummiharze, die von so vielen andern Pflanzen ausgeschieden werden und welche gesammelt und als Droguen in den Handel gebracht werden, dürften in physiologischer und pathologischer Beziehung dem Harz der Koniferen analog sein. Denn auch diese fließen in reichlicher Menge aus den Pflanzen aus, sei es von selbst, sei es nach absichtlichen Verwundungen. Auch sie sind meist in regelmäßig vorhandenen Sekretionskanälen in der Pflanze enthalten. Aber ein mehr oder weniger großer Teil des ausfließenden Sekretes scheint auch hier seine Entstehung der Desorganisation von Gewebekomplexen zu verdanken. So hatte schon **Wigand**[2]) bei Untersuchung dieser Droguen vielfach Zellgewebsteile in denselben gefunden, deren Zellen mit Harz erfüllt und deren Membranen mehr oder weniger in Harz, beziehentlich in Gummi umgewandelt erschienen; so beim Kopal, Epheuharz und Xanthorrhoea-Harz, sowie beim Bedellium, bei der Myrrhe, dem Weihrauch, der Asa foetida, dem Ammoniacum und dem Opopanax. Bestimmt nachgewiesen ist diese lysigene Entstehungsweise des Harzes bei den Copaivabalsam liefernden Copaifera-Arten und beim Benzoebaum durch **Tschirch**[3]), welcher die Entstehung dieser Sekrete in der Pflanze selbst untersuchte.

---

[1]) Phytopathologie, pag. 82.

[2]) Pringsheim's Jahrb. f. wissensch. Botanik III. pag. 145—147, 166.

[3]) Berichte d. deutsch. botan. Gesellsch. 1888, pag. 3, und angewandte Pflanzenanatomie. Wien und Leipzig 1889, pag. 477.

III. Gummifluß oder Gummosis der Steinobstbäume. Was bei den Koniferen der Harzfluß, das ist bei den Amygdalaceen, also beim Steinobst, als Kirsch-, Pflaumen-, Aprikosen- und Pfirsichbäumen, der Gummifluß. Zwischen beiden Erscheinungen ist fast in allen Punkten Analogie zu finden. Bei allen Verwundungen der holzigen Teile dieser Bäume, zumal der Kirschbäume, tritt Gummifluß ein. Das Gummi sammelt sich als eine helle bis braune, durchsichtige, bald zähflüssige, bald mehr erhärtete Masse an der Oberfläche an, gewöhnlich unmittelbar auf oder neben einer Wundstelle, oft aber auch in einiger Entfernung von einer solchen, und dort hat es sich selbst einen Weg durch das Periderm gebrochen. Bisweilen sind der Stamm oder einzelne Äste ganz bedeckt mit solchen Gummiflüssen. Dieses Sekret gehört in die Reihe der Gummiarten, ist also ein Kohlenhydrat, isomer mit dem Zellstoff; es ist löslich oder aufquellbar in Wasser, gerinnt in Alkohol und giebt nach Behandlung mit Salpetersäure Schleimsäure (neben Oxalsäure).

Gummifluß der Steinobstbäume.

Nachdem schon einige Botaniker, wie Karsten[1]) und Trecul[2]) die Meinung ausgesprochen hatten, daß das Kirschgummi durch Umwandlung der Zellmembranen des Holzes und der in den Zellen enthaltenen Stärkekörner entstehe, wurde eine genauere Untersuchung dieses Vorganges von Wigand[3]) und von mir[4]) geliefert. Aus dieser ergiebt sich folgendes. In Gummosis kann sowohl das Holz, als auch die Rinde und schließlich auch die Cambiumschicht übergehen. Die größten Veränderungen finden dabei im Holze statt.

Daß in solchem Holze die Lumina der Gefäße und Holzzellen mit Gummi erfüllt sind, kann nicht Wunder nehmen, denn das ist ja die gewöhnliche Bildung von Wundgummi, die bei allen Laubhölzern unter solchen Umständen eintritt. Sie hat hier auch nichts mit dem Gummifluß zu thun, denn das aus den Steinobstgewächsen ausfließende Gummi stammt nicht aus dem in den Gefäßen befindlichen Gummi, sondern entsteht durch Umwandlung eines vorher von dem Cambium gebildeten abnormen Holzparenchyms. Die Cambiumschicht erzeugt nämlich in solchen Fällen stellenweis kein normales Holz, sondern kleinere oder größere, lediglich aus abnormem Holzparenchym bestehende Gewebecomplexe, und aus diesen entstehen, indem ihre Zellen sich in Gummi umwandeln (Fig. 8), größere mit Gummi erfüllte Kanäle (Gummidrusen). Das gummierzeugende Holzparenchym wird abgelagert in Gruppen von rundlichem Querschnitt, die beiderseits meist von Markstrahlen, nach vorn und hinten von normal zusammengesetzten Geweben des Holzkörpers begrenzt sind und gewöhnlich in einem Jahresring zu mehreren, oft in großer Zahl tangential nebeneinander liegen. Dem unbewaffneten Auge erscheinen sie auf dem Querschnitte als dunkle Punkte, die in den Jahresringen eine diesen parallele Linie bilden (Fig. 10 B). Häufig sind die centralen Zellen solcher Gruppen beträchtlich größer als die umgebenden, welche infolge dessen mehr oder weniger flach gedrückt und peripherisch um das Centrum gelagert sind, so daß die Gruppe oft völlig kreisrund ist. Infolge vermehrter Zellenbildung der Cambiumschicht an dieser Stelle und stärkeren Wachstumes der centralen

Gummibildung im Holze.

---

[1]) Bot. Zeitg. 1857. pag. 319.

[2]) Sur la maladie de la gomme etc. Comptes rendus. 1860. pag. 621.

[3]) Über die Desorganisation der Pflanzenzelle 2c. Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot. III. pag. 115 ff.

[4]) Über die anatom. Bedeutung und die Entstehung der veget. Schleime. Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot. V. pag. 25 ff.

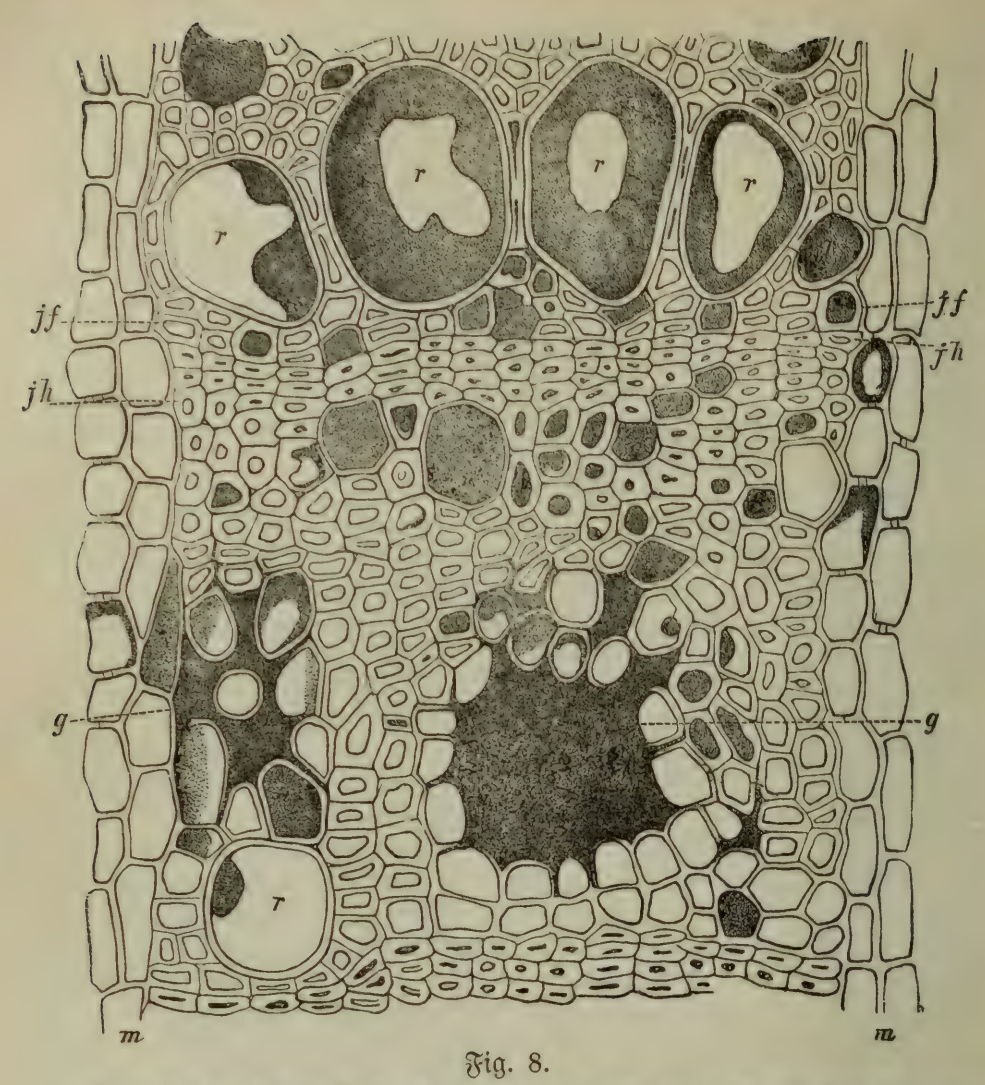


Fig. 8.

Querschnitt durch Holz des Kirschbaumes mit Gummidrusen, von denen bei gg zwei in ihrer Entstehung durch Auflösung von Holzzellen sichtbar sind; p mehr oder weniger mit Wundgummi erfüllte Gefäße (vergl. Seite 34); mm Markstrahlen; bei if Frühjahrs-, bei ih Herbstholz, den Jahresring bildend. Nach Tschirch.

Zellen ragt eine solche eben entstandene Gruppe mit ihrer Cambiumschicht gewöhnlich bogenförmig in die Rinde vor (Fig. 9). Sehr bald nach der Bildung solcher Holzparenchymgruppen tritt auch die Gummibildung im Centrum derselben unter Desorganisation der dort stehenden Zellen ein und schreitet mehr oder weniger weit ringsum gegen die Peripherie fort (Fig. 8). Die Gummibildung schreitet an der einzelnen Zelle in centripetaler Richtung fort: zuerst wird die primäre Membran und zuletzt die inneren mit den Tüpfeln versehenen Schichten nach und nach von außen nach innen aufgelöst. Man findet gleichzeitig Zellen in allen Stadien der Umwandlung neben einander. Im letzten Stadium sieht man die Zelle nur noch als dünne innerste Membranschicht mit der ursprünglichen Zellhöhle, eingebettet in der homogenen Gummimasse.

Einige der schon im Gummi liegenden Holzparenchymzellen zeigen, so lange sie selbst noch nicht angegriffen sind, ein Wachstum und eine Vermehrung durch Querteilung, wodurch sie zu kurzen, in die Gummimasse hineinragenden Zellreihen auswachsen (Fig. 9), die jedoch früher oder später ebenfalls der Desorganisation anheimfallen. Oft entstehen auch in diesem abnormen Holzparenchym Stärkekörner; diese werden dann ebenfalls mit in die Gummibildung hineingezogen. Bisweilen liegen die Complexe von Holzparenchym so nahe nebeneinander und ihre Gummifizierung schreitet so weit fort, daß mehrere Gummidrusen seitlich zusammenfließen. Oder der Complex des abnormen Gewebes wird gleich in einem längeren Streifen eines Jahresringes angelegt (Fig. 9). In beiden Fällen kommen größere gummiführende Lücken im Holzringe zu stande. Dabei können aber die abnormen Gewebemassen immer noch von normal gebautem

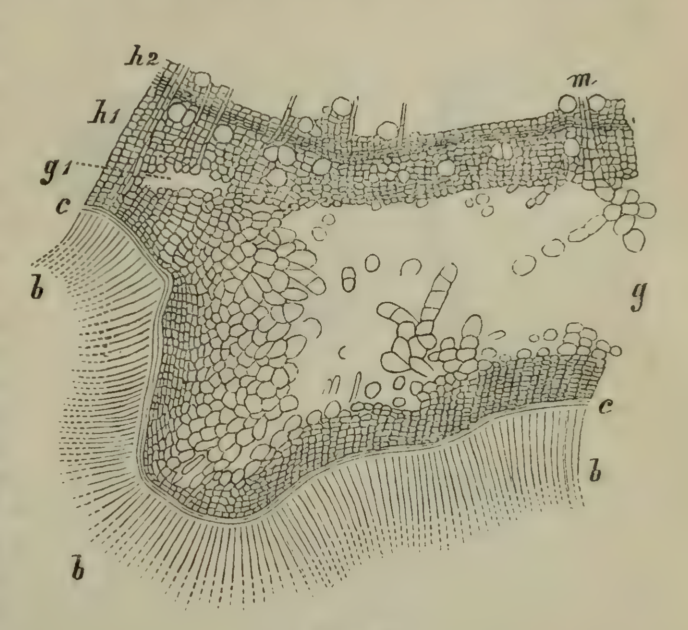


Fig. 9.

Durchschnitt durch einen Teil einer sehr großen **Gummidruse im Holze bei der Gummikrankheit des Kirschbaumes.** h_1 der Holzring des letzten Jahres, h_2 Grenze des vorigen Jahresringes. cc Cambiumschicht, nebst dem Holzkörper über der großen Gummidruse g bogenförmig nach außen vorstehend; die Desorganisation des Gewebes ist dort nahezu bis zur Cambiumschicht fortgeschritten. bbb Rinde. g_1 eine kleinere Gummidruse im Holze. m Markstrahl.

Holzgewebe umschlossen sein, d. h. die Cambiumschicht kann nach der Bildung derselben wieder normal Holzfasern und somit eine regelmäßige Herbstholzschicht ablagern. Dann bleiben auch diese Gummidrusen für immer im Holzkörper eingeschlossen, und die Holzbildung kann dann im nächsten Jahre auch wieder normal anheben. Gewöhnlich aber kehrt dann die Abnormität in den folgenden Jahren wieder und zwar in erhöhtem Grade. Die Cambiumschicht scheidet dann oft bis zum Schlusse der Vegetationsperiode nur dergleichen Holzparenchym an den Holzkörper ab (Fig. 9). Da dieses nun wie gewöhnlich der Gummibildung verfällt, so schreitet die letztere in diesem Falle bis in die Cambiumschicht fort. Da dann gewöhnlich auch schon eine Gummifizierung des Rindengewebes besteht, so schließt sich jene an diese an, und nun kann das in der großen Gummidruse des Holzes erzeugte Gummi ebenfalls zum Ausfluß nach außen kommen.

Gummibildung in der Rinde.

Der allergrößte Teil des aus den Stämmen hervorquellenden Gummi stammt aber aus der Rinde. Es werden hierbei nicht nur die dünnwandigen Zellen, sondern auch die dickwandigen Bastfasern aufgelöst, indem die Membranen

allmählich in die allgemeine Gummimasse zerfließen; nur das Korkgewebe des Periderms bleibt von der Gummosis verschont. Wo Gummiflüsse zum Ergusse kommen, also besonders in der Nähe von Wunden, da ist immer die Rinde in gewisser Ausdehnung in Gummientartung übergegangen. Die letztere kann sich von dort aus auch auf weite Strecken unter dem unversehrten Periderm hinziehen, ohne daß sie sogleich überall nach außen zum Durchbruche gelangt. Außerdem kommen auch in den äußeren Teilen der Rinde älterer Stämme, nämlich im Periderm oder in der Borke, isolierte, scharf umschriebene kleinere Gummidrusen von oft linsenförmiger Gestalt vor, welche nach einwärts durch eine Peridermschicht von der gesunden Rinde abgegrenzt werden und häufig nach außen aufbrechen.

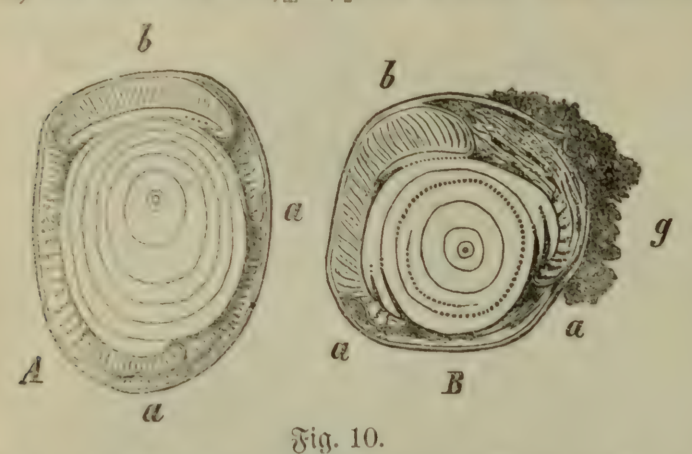


Fig. 10.

Aeste des Kirschbaumes, die unter Gummosis absterben, im Querschnitte, schwach vergrößert. A noch lebend, B im letzten Stadium des Lebens, wo sich Gummi schon auswendig bei g angesammelt hat. a a a a die Stellen, wo die Cambiumschicht die toten Partien zu überwallen versuchte, jetzt auch getötet. b b die einzigen Punkte, an denen die Cambiumschicht und Rinde noch nicht durch Gummosis getötet sind und den letzten Überwallungsversuch gemacht haben. Der Holzkörper in B mit zahlreichen, als Punkte erscheinenden Gummidrusen, die in Kreisen oder Bogenlinien angeordnet sind.

Zerstörung der Cambiumschicht. Absterben der Äste.

An allen Stellen, wo die Rinde in Gummi umgewandelt ist, desgleichen da, wo das Holz bis an seine äußere Grenze dieselbe Umwandlung erleidet, verschwindet selbstverständlich auch die Cambiumschicht, da sie mit in diese Veränderungen hineingezogen wird. Die Folge davon ist, daß in dieser ganzen Ausdehnung weder die Rinde noch das Holz einen Zuwachs erhält. Der Ast erzeugt dann eben nur noch an einem Teile seines Umfanges, der bisweilen nur ein kleiner ist, neues Holz, nämlich nur dort, wo die Cambiumschicht am Leben geblieben ist (Fig. 10). Der Holzkörper erhält auf diese Weise sehr unregelmäßige Form. Die unvollständigen Holzringe, die sich dann bilden, suchen sich an den Rändern abzurunden, d. h. einen Überwallungswulst (s. Wundenheilung) zu erzeugen, der vom alten Periderm bedeckt bleibt, aber sich mit neuer Rinde und Periderm bekleidet und die verdorbene Stelle des Holzkörpers zu überwallen sucht. Dies gelingt aber meist nur wenig; und manchmal tritt dann auch an den Überwallungsschichten dasselbe abnorme Holzgewebe und die Gummosis auf, die auch hier wieder bis zur Zerstörung der Cambiumschicht führen kann. Es findet also einige Jahre hindurch eine Art Kampf zwischen Gummosis und Überwallung statt, der aber immer mehr zum Nachteil der letzteren sich gestaltet und endlich mit der gänzlichen Vernichtung der Cambiumschicht und dem Erlöschen der Lebensthätigkeiten des

Astes abschließt. In Fig. 10 sind verschiedene Zustände von Ästen, die unter Gummosis absterben, dargestellt.

Während der Vegetationsruhe ist das Gummi im Innern wie an der Oberfläche der Pflanze ziemlich eingetrocknet und erfährt keine merklichen Veränderungen. Während der Vegetationsperiode quellen teils an neuen Stellen zähflüssige Gummimassen aus der Rinde hervor, teils werden die alten Gummiexkrete von innen her durch den Saftzufluß wieder erweicht und vergrößert.

Ursprung des Gummi.

Wie die unmittelbare Beobachtung lehrt, entsteht beim Gummifluß durch Umwandlung von Zellmembranen und Stärkekörnern Gummi. Wigand hält nun diese in Desorganisation übergehenden Teile für die einzige Quelle des Gummi und kommt daher zu der Behauptung, daß durch den Gummifluß dem Baume nur feste Membranen, aber keine Säfte entzogen werden. Diese Meinung, die von keinem der früheren Schriftsteller geteilt wurde, habe ich zu entkräften gesucht, indem ich auf folgendes hinwies[1]). Die Masse der verloren gehenden Zellmembranen steht weit zurück hinter derjenigen des an ihre Stelle tretenden Gummi. Man braucht nur die an irgend einem Punkte eines Astes auswendig angehäufte oft sehr bedeutende Gummimasse zu vergleichen mit der Ausdehnung der im Innern verflüssigten Gewebekomplexe und zu berücksichtigen, daß der Raum, den die letzteren einnahmen, ebenfalls ganz mit Gummi erfüllt ist, um sofort überzeugt zu sein, daß die aufgelösten Zellmembranen nicht hinreichend waren, um das ganze entstandene Gummi zu erzeugen, besonders wenn man noch bedenkt, daß die Rinde, welche die Hauptmasse des Gummi liefert, vorwiegend dünne Zellmembranen hat, und daß das Gummi, sowohl das an der Stelle der zerstörten Gewebe befindliche, als auch das auswendig hervorgedrungene in der Regel nur wenig weich und gequollen, vielmehr von einer Dichtigkeit sich erweist, welche derjenigen des Zellstoffes kaum nachstehen kann. Somit gelangen wir zu dem Schlusse, daß wie beim Harzfluß, so auch bei der Gummikrankheit außer dem Material an Zellmembranen, welches zur Bildung des Sekretes dient, auch ein Quantum von Nahrungsstoffen zu diesem Zwecke verbraucht wird.

Veranlassung und Bedeutung des Gummiflusses.

Was die Veranlassung des Gummiflusses und seine physiologische Bedeutung anlangt, so finden wir völlige Analogie mit dem Harzfluß. In erster Linie sind es allerhand Verwundungen, welche in der Nähe der Wunde auf die Cambiumschicht und auf die Rinde einen Reiz ausüben, der die soeben beschriebenen Bildungsthätigkeiten hervorruft. Sorauer[2]) sah an Kirschbäumen, von denen er im Frühjahr sämtliche Augen entfernt hatte, Gummifluß eintreten. Allen Verletzungen der Rinde durch Quetschung, Reibung, Schälen, sowie den gröberen Verwundungen des Holzes durch Anhauen, Einschneiden, Einschlagen von Nägeln u. dergl., folgt fast unfehlbar Gummifluß an der Wunde; nicht minder häufig ist die Erscheinung an den Überwallungsrändern der Holzwunden; und ebenso tritt sie oft nach dem Pfropfen ein. Wie bei der abnormen Harzbildung, so können aber auch hier außer den Wunden noch andre schädliche Einflüsse, sofern sie eine Schwächung oder ein allmähliches Erlöschen der Lebensthätigkeit verursachen, Gummosis herbeiführen, wie z. B. Beschädigung der Zweige durch Frost, oder Kränkeln derselben in Folge von Wurzelkrankheiten wegen ungeeigneten Bodens, u. s. w. Die zuerst von Duhamel[3]) ausgesprochene und dann vielfach wiederholte Ansicht, daß

[1]) l. c. pag. 31.

[2]) Handbuch der Pflanzenkrankheiten, pag. 192, 2. Aufl. pag. 875.

[3]) Traité des arbres et arbustes. 1755 I. pag. 149.

Kirschbäume, die in eine zu kräftige Erde gepflanzt sind, am meisten dem Gummifluß unterworfen sind, ist nicht zutreffend; in sehr nährstoffreichem Boden, wenn er nur warm und locker ist, findet kein Kränkeln und kein Gummifluß statt; wohl aber kann ein kalter, thoniger Boden dem Wurzelleben nachteilig sein und daher indirekt Gummifluß erzeugen. Gänzlich verfehlt ist die Ansicht Oudeman's[1]), daß der Gummifluß der Amygdalaceen eine Pilzkrankheit sei, verursacht durch einen Pilz, Coryneum Beyerinckii Oudem., den Beyerinck an kranken, mit Gummifluß behafteten Zweigen fand und der nach Überimpfung in gemachte Längsschnitte andrer Zweige sich entwickelte unter Neuauftreten von Gummifluß. Daß wenn man Längsschnitte in einen Zweig macht und wenn außerdem durch einen parasitischen Pilz Gewebe zerstört werden, die Pflanze dagegen durch Gummibildung reagiert, wird nach dem Vorhergehenden nichts Auffallendes haben. Schon eine genaue entwickelungsgeschichtliche Betrachtung der Entstehung des Gummi hätte genügt, um diese irrige Meinung nicht aufkommen zu lassen; denn von der Intervention eines Pilzes ist dabei nichts zu finden.

Wir kommen also zu dem Schlusse, daß, wie schon oben hervorgehoben wurde, der Gummifluß nicht eine spezifische Krankheit ist und also auch nicht eigentlich den Namen Gummikrankheit verdient, sondern ein Symptom von Leidenszuständen ist, die sehr verschiedenartige Ursachen haben können. Die physiologische Bedeutung dieser profusen Gummibildung werden wir aber überall darin zu suchen haben, daß auch sie ein positives Schutzmittel für die noch lebenden Teile eines Baumes ist, indem die rechtzeitige Imprägnierung absterbender Gewebe mit Gummi oder die Einhüllung gefährdeter Teile mit diesem Sekrete auf die benachbarten lebenden Gewebe konservierend wirkt. Und so kann ich mich nicht der von Sorauer[2]) ausgeführten Ansicht anschließen, nach welcher Gummifluß dann eintrete, wenn die plastische zu Neubildungen fähige Säftemasse nicht Herde genug für Neubildungen vorfindet und sich bei reichlichem Wasservorrate anhäuft. Das Vorhandensein solcher Bedingungen läßt sich durch nichts nachweisen; die Ansicht verkennt das Wesentliche, worauf es bei der Erscheinung ankommt, gänzlich.

Gegenmaßregeln. Da der Gummifluß nur das Symptom eines anderweiten Leidens ist, so kann ihm nur durch Verhütung des letzteren vorgebeugt werden, also besonders dadurch, daß der Baum sich in einem für seine Ernährung hinreichenden und für das Leben der Wurzeln zuträglichen Boden befindet, und daß er möglichst vor Verwundung behütet wird. Um den Gummifluß zu heilen, müssen die besonders stark leidenden Äste bis auf das gesunde Holz zurückgeschnitten werden. Wenn ungeeignete Bodenbeschaffenheiten die Veranlassung zur Schwächung des Baumes gegeben haben, so kann Umsetzen in andern Boden die Gummikrankheit beseitigen.

Gummi an Obstfrüchten. Gummi wird auch bisweilen an den Früchten gewisser Amygdalaceen, besonders an den Pflaumen abgesondert. Dasselbe entsteht zwischen dem Stein und dem Fruchtfleisch und zwar nach Wigand[3]) ebenfalls unter Desorganisation von Zellgewebe, nämlich der Zellen des Fruchtfleisches, die hier ebenfalls in allen Stadien der Umwandlung angetroffen werden. Das Gummi tritt auch

[1]) Hedwigia 1883, Nr. 8, 9 u. 11.

[2]) l. c. 2. Aufl. pag. 875—876.

[3]) l. c. pag. 142.

hier an die Oberfläche hervor. Die Ursache sind hier vielleicht auch Verwundungen; doch scheint darüber noch nichts beobachtet worden zu sein.

Gummifluß von Elaeagnus.

IV. Gummifluß andrer Pflanzen. Von den Gummiflüssen andrer Bäume, soweit sie untersucht sind, stimmt, wie ich gezeigt habe[1]), mit demjenigen des Steinobstes völlig überein der Gummifluß von Elaeagnus canadensis. Auch hier quillt, besonders an Wundstellen, wie Abstumpfen 2c., ein durchsichtiges, mehr oder weniger braunes, zähflüssiges Gummi aus dem Stamme hervor. An diesen Stellen zeigt sich, daß in den jüngeren Schichten des Holzkörpers ein in Gummi sich desorganisierendes, in abnormer Menge abgelagertes Holzparenchym aufgetreten ist, welches in Beziehung auf seinen Bau und seine Umwandlung in Gummi mit dem des Kirschbaumes übereinstimmt, und daß endlich auch die Rinde der Umwandlung in Gummi unterliegt.

Gummifluß der Acacia-Arten.

Der Gummifluß der Acacia-Arten, welcher das arabische Gummi und das Senegalgummi liefert, schließt sich den vorhergehenden wahrscheinlich innig an. Diese Gummiarten kommen als tropfenförmige Ausscheidungen auf den Stämmen von Acacia vera, senegal und zahlreichen andern Arten vor. Daß sie kein normales Vorkommnis sind, geht aus den Berichten der Reisenden hervor[2]), nach denen diese Bäume in gewissen Gegenden gar kein Gummi liefern. An 4 cm dicken Stammstücken von Acacia vera kann ich keine Spur von Gummi finden. In der Handelsware kommen nicht selten vollständige Rinde- und Borkestücken vor, welche auf ihrer Innenseite mit dicken Gummimassen bedeckt sind, und auch in ihrem Innern in tangentialen Spalten zwischen Borkenschuppen Gummi enthalten, welches man stellenweise deutlich durch die Risse der Borke nach außen dringen sieht. Wigand[3]), welcher solche Stücke untersuchte, hat bereits ermittelt, daß auch hier eine Gewebe-Desorganisation vorliegt, indem man darin noch die Bastfasern in verschiedenen Stadien der Umwandlung in Gummi antrifft. Eine nähere Untersuchung Möller's[4]) hat ergeben, daß das Acacia-Gummi immer durch Auflösung der verschiedenen Gewebe der Rinde entsteht.

Traganthgummi.

Auch die Entstehung des Tragantgummi, welches als eine gallerartige, an der Luft erhärtende Masse in Form gewundener Fäden oder Bänder aus den etwa zolldicken Stämmen mehrerer orientalischer Astragalus-Arten ausgeschwitzt wird, ist als eine mit den vorigen nahe verwandte Erscheinung zu betrachten. Nach der Untersuchung H. v. Mohl's[5]) entsteht dasselbe durch Umwandlung der Zellen des Markes und der Markstrahlen. Diese Zellen bekommen, wenn sie ihre Umwandlung beginnen, dickere Membranen, welche deutlich geschichtet sind und bei Benetzung mit Wasser gallertartig erweichen. Weiter umgewandelte Zellen schwellen im Wasser noch mehr auf und trennen sich von einander los. Die quellende Membran nimmt dann durch Verschwinden der Schichtung ein homogenes Aussehen an, und dieser Prozeß geht von außen nach innen vor sich, so daß die innersten Membranschichten am längsten widerstehen, wenn die äußersten Schichten schon zu einer gleichförmig schleimigen

---

[1]) l. c. pag. 33.

[2]) Vergl. Nees v. Esenbeck, Handbuch der midizin.-pharmac. Botanik. III. pag. 192.

[3]) l. c. pag. 143.

[4]) Entstehung des Akazien-Gummi. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. Wien. Juni 1875.

[5]) Botanische Zeitung 1857, pag. 33 ff.

Gummimasse zerflossen sind. In dem ausgeschwitzten Tragant finden sich in der Regel noch Zellen in den verschiedensten Zersetzungsstadien eingeschlossen, die beim Hervorfließen des Gummi mit fortgerissen worden sind. Über die Veranlassung dieser Ausscheidung sind wir durchaus ungenügend unterrichtet. Das, was durch die Reisenden bekannt geworden ist, hat H. v. Mohl (l. c.) zusammengestellt. Daraus scheint hervorzugehen, daß dabei Verwundungen eine große Rolle spielen. Auf dem Ida in Creta und in Griechenland wird Tragant von Astragalus creticus *Lam.* und A. aristatus *l'Hérit.*, auf dem Libanon von A. gummifer *Labill*, in Persien von A. verus *Oliv.* abgesondert; und zwar sollen sowohl auf dem Ida wie in Persien die Verwundungen durch die Tritte des Viehs und der Schäfer Veranlassung zum Austreten des Gummi geben, und in der Gegend von Bitlis sei es Sitte, zu diesem Zwecke Einschnitte in die Pflanze zu machen. Nach den übereinstimmenden Berichten quillt der Tragant in der heißen Jahreszeit, im Juli, August und September, aus der Pflanze. Als begünstigender Umstand wird auch die Feuchtigkeit der Luft genannt. Auf dem Libanon sollen wolkige Nächte und starker Tau zum Austreten des Gummi nötig sein, weshalb auch die auf tiefer gelegenen Stellen des Libanon wachsenden Sträucher wegen geringerer nächtlicher Feuchtigkeit nur wenig Tragant liefern. Ebenso soll in Griechenland auf allen trockneren Gebirgen kein Tragant gewonnen werden, sondern nur auf denjenigen, wo viele kalte Regen mit großer Hitze abwechseln.

Gummifluß der Aurantiaceen.

Der Gummifluß der Pomeranzen-, Citronen- und Apfelsinenbäume ist eine in der neuern Zeit immer mehr an Ausdehnung gewinnende, „mal della gomma“ genannte Krankheitserscheinung in den italienischen Kulturen dieser Bäume[1]), welche mit dem Auftreten schwarzer Rindenflecken an Stamm und Ästen beginnt, die nach einiger Zeit aufplatzen und ein hellgelbes Gummi ausfließen lassen. Die Gummiherde können einen größeren Teil des Stammumfanges einnehmen und dann stirbt der Baum ab. Stecklinge und veredelte Exemplare sollen die Krankheit häufiger zeigen als unveredelt gebliebene Sämlinge; auch soll thoniger Boden, starke Bewässerung, reichliche Düngung das Übel vermehren. Savastano[2]) will bezüglich der Entstehung des Gummi die vollständigste Analogie mit den Amygdalaceen gefunden haben. Es ist also vielleicht auch hier die Erscheinung nur das Anzeichen verschiedenartiger Leidenszustände. Als Gegenmittel empfiehlt Savastano hauptsächlich sorgfältiges Ausschneiden aller kranken Stellen, Cauterisieren der Wunden durch Feuer und nachher Bedeckung der Wunden mit Pech, was wenigstens bei Beginn der Krankheit angewendet Erfolg haben soll. Reichliche Düngungen und Bewässerungen sind zu vermeiden.

Marciume del Fico.

Als Marciume del Fico bezeichnen die Italiener eine Krankheit des Feigenbaumes, die in den Wurzeln ihren Sitz hat und wenn sie den Wurzel-

[1]) Novellis, Il male della gomma degli agrumi. Botan. Centralblat 1880, pag. 469. — Flühler, die Krankheit der Agrumen in Sicilien. Biedermann's Centralbl. f. Agrikulturchemie 1874, pàg. 368.

[2]) Gommose caulinaire dans les Aurantiacées, Amygdalées, le Figuier, l'Olivier etc. Compt. rend. Dezember 1884. — Jl Marciume del Fico. Annuario della R. Scuola sup. d'Agricult. Portici. III. fasc. V. 1884. — Della cura della gummosi e carie degli agrumi. Atti Comizio agrario di Napoli. IV. 1887. — Vergl. auch Gennadius, Gummose der Hesperiden Athen 1885.

hals erreicht, den Tod der Pflanze zur Folge hat. Savastano (l. c.) hat auch hier dieselbe Gummibildung wie im vorigen Falle konstatiert und findet die Erscheinung sowohl infolge von Verwundung als auch ohne jede erkennbare äußere Veranlassung. Es scheinen also wohl auch hier wieder sehr verschiedene Krankheitsursachen vorzuliegen.

Gummosis des Ölbaums

Auch am Ölbaum kommt nach Savastano (l. c.) eine Gummosis an Wurzeln und an den oberirdischen Axen vor.

Madnafluß.

V. Mannafluß. Die offizinelle Manna, welche in Calabrien und Sicilien von der Manna-Esche (Fraxinus Ornus) gewonnen wird, fließt von selbst aus den Bäumen aus und muß nach dem, was darüber bekannt ist, ebenfalls als ein infolge von Verwundung erzeugtes Produkt betrachtet werden. Nach den von Meyen[1] zusammengestellten Angaben sind die Verwundungen, nach denen die Manna abgeschieden wird, teils absichtlich angebrachte Einschnitte, teils Insektenstiche, besonders der Mannaciade. Man läßt die Bäumchen etwa 8 Jahr alt werden und schält dann einen 3 Cm. breiten und 60 bis 70 Cm. langen Rindenstreifen ab, worauf ein rasch zu Manna erstarrender Saft ausfließt; man benutzt denselben Baum 10 bis 12 Jahre lang, indem man ihn jedes Jahr anschneidet. Darnach aber ist der Baum erschöpft und wird gefällt. Bei uns zeigt die Manna-Esche diese Sekretion sehr selten Außerdem liefert auch die Tamariske des Sinaigebirges (Tamarix gallica var. mannifera) infolge des Stiches einer Schildlaus Manna. Bei beiden Pflanzen ist über die Entstehungsweise der Manna nichts bekannt. Sie zeigt keinerlei Organisation und besteht vorwiegend aus Mannit neben Zucker und Schleim, könnte also wegen ihrer Verwandtschaft mit den Kohlenhydraten möglicherweise ein Desorganisationsprodukt von Stärkemehl oder Cellulose sein.

B. Die natürlichen Heilungsprozesse.

Unterscheidung von Wundkork und Callus.

Unter normalen Verhältnissen wird an allen Wunden der Pflanzen ein natürlicher Heilungsprozeß eingeleitet; es treten nämlich Neubildungen ein, die wenigstens das eine zur Folge haben, daß das an der Wunde verloren gegangene Hautgewebe durch ein neues ersetzt wird. Bei den pflanzlichen Heilungsprozessen ist in erster Linie festzuhalten, daß im allgemeinen jede einmal verwundete Zelle unfehlbar dem Tode anheimfällt, daß von ihr also kein Heilungsprozeß ausgehen kann, sondern daß dies immer nur von den unter der Wunde liegenden Zellen, soweit sie unverletzt geblieben und soweit sie überhaupt lebensthätig sind, zu erwarten ist. Die auf diese Weise zustande kommenden Neubildungen sind anatomisch von zweierlei Art, wofür ich die Bezeichnungen Wundkork und Callus gebrauchen will. Alle behufs Heilung eintretenden Neubildungen lassen sich in der That auf einen dieser beiden Prozesse zurückführen, wobei freilich zu bemerken ist, daß Fälle vorkommen, wo die Grenze zwischen beiden Typen verwischt ist. Bei der Bildung des Wundkorkes ist jedes Wachstum ausgeschlossen, indem die betreffenden Zellen, allerdings unter Wieder-

[1] Pflanzenpatologie, pag. 226 ff.

auftritt von Zellteilungen, sich unmittelbar in Korkzellen umwandeln. Der Callus kommt dagegen stets durch ein Spitzenwachstum der betreffenden Zellen zustande, welches gegen die Wunde hin gerichtet ist, so daß diese Zellen zu Schläuchen oder zu Zellreihen auswachsen und dadurch eine über die Wundfläche hervortretende Wucherung oder Vernarbung erzeugen. Dieses Wachstum stellen sie aber bald ein, und dann erleiden die äußeren Zellen des Callus eine Verkorkung der Membranen, wodurch also wiederum ein neues Hautgewebe aus Kork geschaffen wird. Die inneren Zellen des Callus können in manchen Fällen sich in ein Meristem umwandeln, aus welchem dann sogar ein neues Cambium, eine neue Rinde und neues Holz entstehen können, wie besonders bei den Heilungsprozessen, die man als Überwallung bezeichnet. Die hier kurz charakterisierten Arten der Heilungen betrachten wir in folgendem genauer.

Heilung an Vaucheriazellen.

Einfachere Heilungsprozesse als die vorstehend skizzierten finden wir bei den einfachst gebauten niederen Pflanzen. Die einzige große Zelle, aus welcher die Alge **Vaucheria** besteht, macht sogar davon eine Ausnahme, daß eine verletzte Zelle selbst nicht mehr heilbar ist. An der langen schlauchförmigen Zelle dieser Pflanze wird nach Hanstein[1]) nur der an die Wundstelle (Einschnitt, Quetschung u. dergl.) unmittelbar angrenzende Teil des Protoplasma's getötet; das dahinter liegende unzerstörte Protoplasma zieht sich rasch zusammen und sucht seine Wundränder wieder aneinander zu fügen, was bald schneller bald langsamer gelingt, indem diese sich in einer nach außen gewölbten Krümmung vereinigen, gleichsam hinter dem Schutz der Trümmer des getöteten Teiles. Hierauf wird die Heilung dadurch vollendet, daß sich ein neues Zellhautstück ausscheidet, welches seitlich an die alte Zellmembran angefügt wird. Daher rühren die Scheidewände, die man bisweilen in dem typisch einzelligen Schlauch der **Vaucheria** antrifft. Neben dieser Stelle kann nun der Schlauch auswachsen und sich verlängern. Die Chlorophyllkörner ziehen sich gleich nach der Verwundung von dort ebenfalls zurück und kehren erst nach der Heilung wieder in die normale Lage an der neuen Zellwand zurück.

Heilung an Moosblättern.

Bei den sehr einfach gebauten, nämlich aus einer einzigen Schicht gleichförmiger Zellen bestehenden Blättern der Moose können die hinter einer Wunde liegenden Zellen direkt wieder gleichartige Zellen erzeugen. K. Müller[2]) sah an Moosen, besonders an **Bryum Billardierii** die Blätter in verschiedenartiger Weise, wahrscheinlich durch ein Tier verletzt, und wie sie auch zerrissen sein mochten, immer war wieder eine Ergänzung eingetreten durch Zellen, welche von den normalen durch etwas größere Weite und meist regelmäßig sechsseitige Gestalt (die normalen sind rautenförmig sechsseitig) sich unterschieden. So bei Verletzungen am Rande oder bei Rissen mitten in der Blattfläche, die sich durch solche Zellen wieder ausfüllten. Bei verloren gegangener Blattspitze entsprangen

---

[1]) Über die Lebensthätigkeit der **Vaucheria**zelle &c. Niederrheinische Gesellsch. f. Natur- und Heilkunde in Bonn, 4. Nov. 1872. Citiert in Bot. Zeitg. 1873. pag. 697.

[2]) Zur Kenntnis der Reorganisation im Pflanzenreiche. Bot. Zeitg. 1856. pag. 200.

die neuen Zellen aus der abgebrochenen Rippe und bildeten sich in der normalen Zellenform der Blattfläche fort, so daß aus ihnen zwei Blattflügel hervorgingen, die gegeneinander sich abrundeten, aber nicht sich vereinigten, weil die Rippe nicht mit regeneriert wurde.

I. Die Heilung durch Wundkork.

Heilung durch Wundkork.

Kork ist ein im normalen Aufbau der Pflanzen sehr häufig verwendetes Gewebe, welches immer die Rolle eines Hautgewebes spielt,

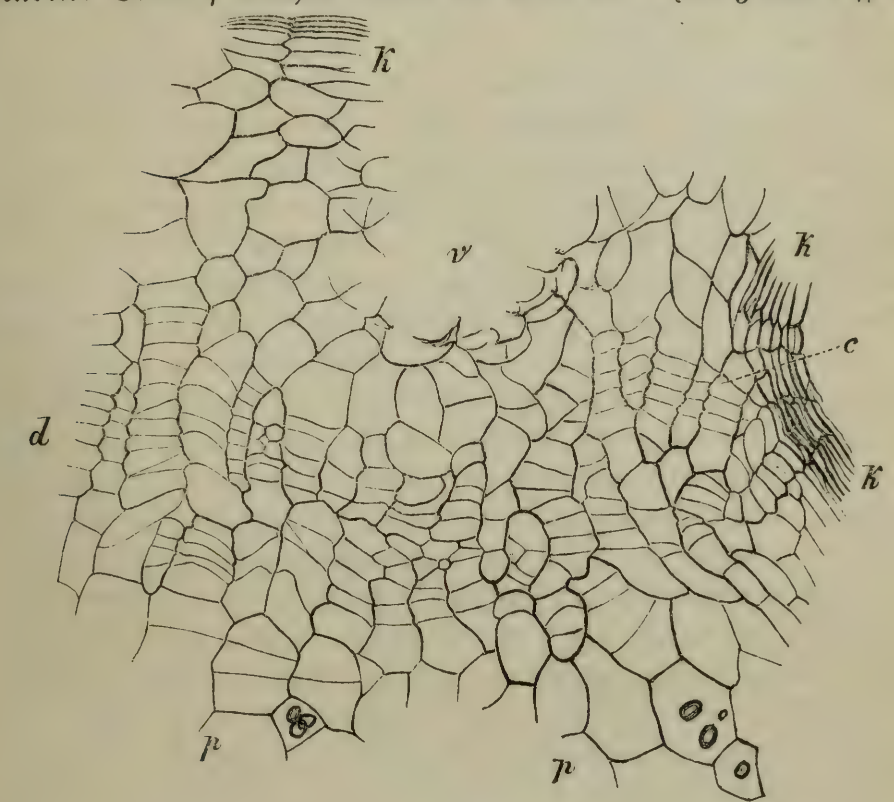


Fig. 11.

Heilung der Wunde einer Kartoffelknolle durch Wundkork. v die Wunde, welche tief ins Parenchym eingedrungen ist, an ihren Rändern zerstörte Gewebeteile, stellenweise die alte Schale (Korkschicht) k. Im Gewebe unter der Wunde, in der Richtung von c bis d Entwickelung eines Meristems durch lebhafte Teilung der Parenchymzellen mittelst tangentialer Scheidewände, woraus die Schicht von Wundkork sich bildet. Diese schließt bei c an das Korkmeristem der Schale an. pp das tieferliegende durch den Wundkork geschützte Parenchym, einzelne Zellen mit Stärkekörnern. 60 fach vergr.

d. h. an der Oberfläche von Pflanzenteilen sich findet (Kartoffelschale, Periderm der Holzpflanzen 2c.) und wegen der chemischen und physikalischen Eigenschaften seiner (verkorkten) Zellmembranen die unterliegenden Gewebe vor übermäßiger Verdunstung und vor zersetzenden

äußeren Einflüssen schützt. Der Verschluß einer Wundfläche durch eine Schicht von Korkgewebe leistet also auch für die verwundeten Gewebe den eben bezeichneten Dienst und hat somit im vollsten Sinne des Wortes die Bedeutung einer Heilung. Die Bildung von Wundkork ist die gewöhnlichste Heilung der Wunden bei krautartigen und parenchymreichen Pflanzenteilen, also bei fleischigen Wurzeln und Knollen, bei den meisten Kräuterstengeln und Blattstielen, zum Teil wohl auch an Blattflächen, wiewohl an diesen häufig Callus gebildet wird; endlich heilen Succulenten, wie die Cacteenstengel, die Blätter der Crassulaceen ꝛc. gewöhnlich durch Kork. Der Vorgang besteht darin, daß während eine oberflächliche Schicht von Zellen der Wundfläche, die durch die Verletzung selbst getroffen und getötet sind, vertrocknet, die dieser zunächst liegenden lebenden Zellen wiederholt durch Scheidewände sich teilen, welche sämtlich der Wundfläche parallel orientiert sind (Fig. 11). So bildet sich eine der Wundfläche folgende Schicht teilungsfähigen Zellgewebes, ein Meristem, dessen Zellen in der Richtung der Wundfläche ebenso breit wie ihre Mutterzellen, in radialer (zur Wunde rechtwinkliger Richtung) aber schmal, also mehr oder weniger tafelförmig und in dieser Richtung reihenweis geordnet sind. Diese Zellen enthalten Protoplasma und haben sehr dünne Membranen. In allen diesen Beziehungen gleicht dieses Meristem jedem normalen Korkmeristem, und in der That geht auch aus ihm unmittelbar der Wundkork hervor. Die nach außen gelegenen Zellen dieses Meristems verwandeln sich nämlich in echte Korkzellen, indem ihre Membranen verkorken, und der Zellinhalt verschwindet, womit zugleich die Fähigkeit der Zellteilung verloren geht. Dagegen behalten die nach innen gelegenen Zellen des Meristems ihre Beschaffenheit und Teilungsfähigkeit bei und sorgen für die stete Erneuerung des Korkes von innen her. Die Reste der äußersten abgestorbenen Zellen vertrocknen dann immer mehr, werden unkenntlich, und die Wunde ist mit Kork bedeckt, wodurch sie eine graue oder bräunliche, sich trocken anfühlende Beschaffenheit erhält. Die beschriebenen Veränderungen finden auf der ganzen Ausdehnung der Wundfläche statt und beginnen an allen Punkten derselben gleichzeitig, sind auch an allen gleichzeitig beendigt, so daß die vollständige Korkschicht in der möglichst kürzesten Zeit hergestellt ist. Die ersten Zellteilungen findet man gewöhnlich schon ein oder wenige Tage nach der Verwundung eingetreten. Die Bildung eines lückenlosen Korkverschlusses an jeder beliebigen Wunde wird durch den Umstand ermöglicht, daß die Zellen der verschiedenartigsten Gewebe zu Korkmeristemzellen sich umzuwandeln vermögen. Dem Grundparenchym ist diese Fähigkeit allerdings im höchsten Grade eigen,

gleichgültig ob es Rinde oder Mark ist; aber wir sehen auch in den Zellen des Weichbastes, in denen der Cambiumschicht und sogar im Collenchym Korkbildung eintreten, wenn die Wunde zufällig durch diese Gewebe gegangen ist. Auch Zellen der Epidermis können sich, wenn der Wundkork bis dahin reicht, in manchen Fällen an der Korkbildung beteiligen. Wenn die Wundfläche ein Holzbündel trifft, dessen Zellen ja ebenso wie die echten Bastfasern keiner Metamorphose fähig sind, so greift die Korkbildung hinterwärts um das Holzbündel herum. Immer bildet sich also eine ununterbrochen unter der Wunde hinziehende Korkschicht, und das Wichtigste ist, daß dieselbe ringsum an das Hautgewebe des nicht verletzten Teiles sich ansetzt, wodurch der Pflanzenteil wieder vollständig von Hautgewebe — denn als solches fungiert der Wundkork — umschlossen wird. Ist das alte Hautgewebe eine Korkschicht, so setzt sich der Wundkork am Rande an diese an, derart daß das Meristem dieses in dasjenige der Korkschicht sich fortsetzt (Fig. 11 bei c); ist die Haut des Pflanzenteiles eine Epidermis oder eine durch Sclerenchym verstärkte Epidermis, so setzt sich der Wundkork unmittelbar an diese Gewebe an. Es ist begreiflich, wie unter solchen Umständen jede Wundfläche, und sei sie noch so groß, durch Wundkork verheilen kann. Kartoffelknollen, die mitten durchgeschnitten sind, können, wenn sie vor zu raschem Austrocknen geschützt sind, auf ihrer ganzen Schnittfläche wieder eine Korkschale bilden. Jedoch ist immer die Bildung von Wundkork an gewisse Bedingungen geknüpft. Starke Trockenheit kann sie verhindern, nämlich wenn die Wundfläche im Verhältnis zum Volumen des Pflanzenteiles groß ist, weil dann der letztere zu leicht vertrocknet. Anderseits ist auch übermäßige Feuchtigkeit der Wundkorkbildung hinderlich, weil sie tief eingreifende Zersetzungserscheinungen (s. unten) bedingt, und zwar auch schon an den kleinsten Wunden, weshalb doch im allgemeinen trockne Luft der Wundheilung durch Kork viel günstiger ist, als größere Feuchtigkeit.

II. Die Heilung durch Callus.

Heilung durch Callus.

Callus bedeutet ursprünglich in der Gärtnersprache den Wulst, mit dem sich die Schnittfläche der Stecklinge überzieht. Mit dem hierbei stattfindenden Zellbildungsprozeß stimmt aber im wesentlichen derjenige bei der Heilung von Wunden vieler andrer Pflanzenteile überein, so daß wir alle diese Heilungsgewebe hier unter der Bezeichnung Callus zusammenfassen. Das Wesen der Callusbildung besteht allgemein darin, daß die zunächst unter der Wunde gelegenen lebendigen Zellen gegen die Wundfläche hin vorwachsen, indem die nach dieser Seite gekehrten Zellwände sich in dieser Richtung vorwölben und

durch ein Spitzenwachstum zu Papillen oder kurzen Schläuchen sich verlängern. Meistens erfolgen in diesen Zellen auch Zellteilungen, doch können diese auch unterbleiben, so daß für die Callusbildung das Wesentliche doch immer das Vorwachsen der betreffenden Zellen über die Wundfläche bleibt. Die etwa an der Wunde liegenden Holz-, Sclerenchym-, Korkzellen u. dergl. bleiben unverändert; nur teilungsfähige Zellen sind der Callusbildung fähig. Dies bezieht sich nun nicht bloß auf die noch im Zustande des Meristems befindlichen Zellen, wie die der Vegetationspunkte und des Cambiums, sondern auch auf die schon in Dauergewebe übergegangenen, wie z. B. die Mark- und Rindenzellen erwachsener Stengel und die Mesophyllzellen ausgebildeter Blätter, welche im normalen Zustande sich nicht mehr teilen oder vergrößern und welche gerade bei dieser Gelegenheit ihre immer noch vorhandene Fähigkeit sich zu vermehren oder zu neuen Bildungen heranzuwachsen, beweisen. Bezüglich der Orientierung der zu Callus sich umbildenden Gewebeschicht ist allgemein die Bemerkung zutreffend, daß dieselbe, mit den soeben bezeichneten Ausnahmen, gleichmäßig über die ganze durch die Verwundung freigelegte Fläche sich erstreckt und an den Wundrändern den Anschluß an die unversehrt gebliebenen Hautgewebe erreicht. Es wird daher im günstigsten Falle, d. h. wenn kein der Callusbildung unfähiges Gewebe an der Wundfläche liegt, die Wunde simultan mit einem neuen bildungsfähigen Gewebe überzogen. Dieses bildet sich nun entweder nur zu einem neuen Hautgewebe aus, um die unterliegenden Teile zu schützen, oder aber es wird gleichzeitig zur Bildungsstätte neuer differenter Gewebe, welche die verlorenen alten Gewebe wieder vollständig ersetzen. Wo aber eine einigermaßen größere Fläche der Wunde aus einem der Callusbildung unfähigen Gewebe, z. B. aus dem nackten Holzkörper besteht, da wird von den Rändern der Wunde aus diese Callusbildung mit nachfolgender Regeneration der Gewebe versucht durch den unten näher zu besprechenden Prozeß der Überwallung.

Verkorkender Callus als bloßer Wundverschluß.

1. Verkorkender Callus als bloßer Wundverschluß. Die einfachste Form der Heilung durch Vermittelung von Callus ist diejenige, wo der auf der Wundfläche gebildete Callus bald zu wachsen aufhört und seine Zellmembranen eine chemische Veränderung erleiden, infolge deren sie sich wie eine Cuticula oder wie Kork verhalten. Ein solcher Callus stellt sich dann anatomisch wie funktionell als ein neugebildetes Hautgewebe dar, welches an den Wundrändern an das ursprüngliche Hautgewebe (gewöhnlich Epidermis) sich anschließend, die entblößten inneren Teile wieder vollständig bedeckt. Dieser Heilungsprozeß stellt sich vorzüglich an den Wunden der Blätter, aber auch an solchen

parenchymatöser Achsenorgane ein, besonders bei stich- oder lochförmigen Wunden, an denen er nicht selten zum Wiederverschluß der Unterbrechung der Gewebe führt.

An Monkotylenblättern.

Je nach dem anatomischen Bau des Blattes und je nach der Art der Wunde mögen hierin wieder mancherlei Modifikationen eintreten. Ich habe sie, wie schon in der ersten Auflage beschrieben wurde, vergleichend untersucht

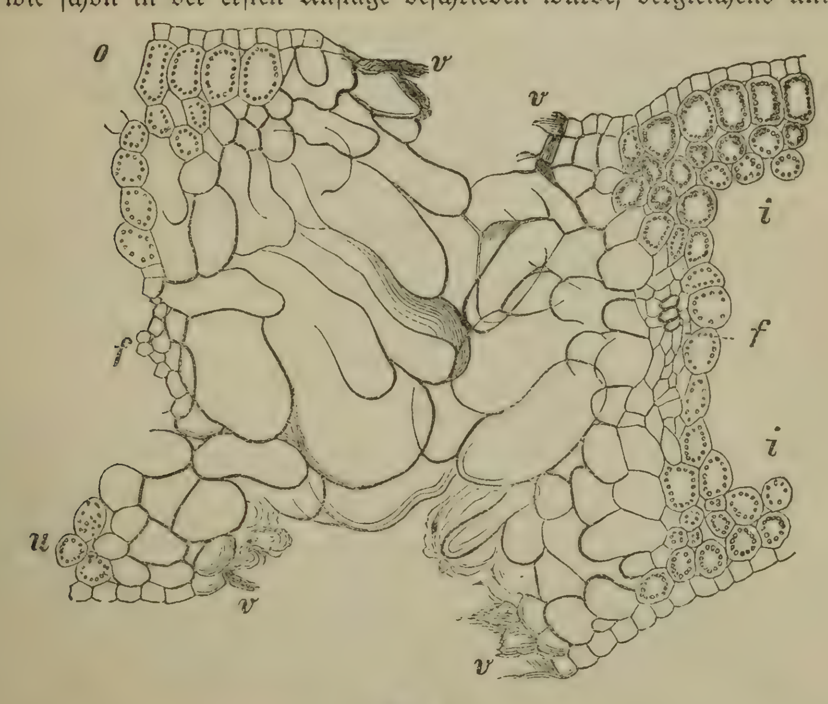


Fig. 12.

Heilung einer Schnittwunde im Blatte von Leucojum vernum durch Callus. Querschnitt des Blattes. vvvv die Wundstellen mit abgestorbenen Geweberesten. Die Wunde war durch den zwischen den beiden Gewebelamellen ff liegenden Luftraum gegangen. Dieser ganz mit verkorkten chlorophylllosen Calluszellen ausgefüllt. ii der angrenzende unversehrte Luftraum, der an seinen Rändern die Zellen unverändert zeigt, die in dem durchschnittenen Mesophyll und Luftraum zu Calluszellen geworden sind. o Ober-, u Unterseite des Blattes, 100fach vergr.

an Blättern von typischem Monokotyledonenbau und an solchen von dem gewöhnlichen Bau der dicotyledonen Landpflanzen. Bei jenen handelte es sich um die Heilung von Stich- und Schnittwunden der Blätter. Ich machte an Blättern von Leucojum vernum mit dem Scalpell der Länge nach gerichtete, spaltenförmige Einschnitte, desgleichen auch mittelst einer Nadel Durchstiche, die beide durch die ganze Dicke des Blattes hindurchdrangen. In der trocknen Zimmerluft blieben die Pflanzen vor Wundfäulnis bewahrt. Nach mehreren Wochen war Heilung eingetreten, bei Stich- wie Schnittwunden mit gleichem Erfolg; den letzteren ersieht man aus Fig. 12, welche einen Querdurchschnitt durch diejenige Stelle darstellt, an welcher ein der Länge nach gehender Schlitz durch das Blatt gemacht worden war. Zum Verständnis berücksichtige man den dem Blatte eigenen Bau, der am rechten Rande der Figur deutlich

ist: zwischen dem Mesophyll der oberen und der untern Seite des Blattes befinden sich große Lufträume ii, die seitlich von einander geschieden sind durch eine dünne Gewebelamelle, in deren Mitte ein Fibrovasalstrang f verläuft. Die Wunden gehen gewöhnlich durch die Lufträume hindurch. Man sieht bei v und v die Wunde in der Epidermis und dem Mesophyll mit den an den Wundrändern haftenden Resten der abgestorbenen verletzten Zellen. Der anfänglich hohle Luftraum zwischen f und f ist jetzt ausgefüllt mit Callus, welcher entstanden ist durch schlauchförmiges Auswachsen und ungemeine Vergrößerung nicht bloß der unmittelbar hinter den verletzten Stellen des Mesophylls (hinter v) gelegenen Zellen, sondern auch sämmtlicher Zellen, welche die beiden Gewebelamellen an den dem geöffneten Luftraum angrenzenden beiden Seiten bekleiden, und gerade diese vorwiegend, wiewohl diese Lamellen direkt gar nicht verletzt waren, ein Zeichen, wie weit sich die Reaktion der Wunde im Gewebe fortpflanzen kann. Von beiden Seiten sind die schlauchförmigen Calluszellen bis zur Berührung gegen einander gewachsen; eine Zellenteilung ist nicht oder vielleicht nur sehr unbedeutend in ihnen eingetreten. Da sämtliche an den Luftraum angrenzende Zellen zu Callus auswachsen und die Schläuche zum Teil an ihren Enden noch weiter anschwellen, so begreift sich, daß der ganze Luftraum, den die Wunde geöffnet hatte, nun wieder verstopft, nämlich ganz ausgefüllt ist, indem die Callusschläuche sich gegen einander pressen und sich teilweise verschieben; es verwachsen sogar die auf einander treffenden Calluszellen mit einander, wie aus der Figur ersichtlich ist und besonders daraus hervorgeht, daß die beiden Hälften der durch diese Stelle geführten dünnen Schnitte nicht aus einander fallen. Die zu Callus gewordenen Zellen haben ihren Inhalt verloren, sie führen nur wässrigen Saft oder Luft; auch ihre Membranen haben ein verändertes Aussehen angenommen, welches an Kork erinnert; in der That bleibt bei Zusatz von konzentrierter Schwefelsäure, in welcher sich das ganze normale Gewebe bis auf die höchst dünne Cuticula auflöst, der ganze Callus ungelöst.

An knollenförmigen Teilen.

Auch F i g d o r[1]) fand, daß nach dem Durchschneiden knollenförmiger Pflanzenteile, wenn dieselben durch einen gewissen Druck aneinander gedrückt werden, Verwachsung eintritt. Es vereinigen sich die neugebildeten Zellen in derselben Weise organisch, wie sie in den Geweben vereinigt sind; so bei Knollen von **Cyclamen europaeum**, Rüben von **Brassica rapa**, sowie bei den Kartoffelknollen, wo jedoch das neugebildete verwachsende Gewebe beiderseits durch eine Korkschicht von den intakt gebliebenen Geweben geschieden wird. Oder die Vereinigung wird bloß durch eine Kittbildung vollzogen, indem die durchschnittenen Zellen in eine gummiartige Masse verwandelt werden; dies trifft oft an den Wurzeln von **Beta vulgaris, Daucus carota, Dahlia variabilis**,. **Helianthus tuberosus** ein, wo jedoch auch wirkliche Verwachsung vorkommt.

An Dikotylenblättern.

Von Dikotylebonen untersuchte ich die H e i l u n g d e r W u n d r ä n d e r d e r d u r c h I n s e k t e n f r a ß d u r c h l ö c h e r t e n B l a t t f l ä c h e n. An Blättern von **Cornus sanguinea**, die einige Zeit vorher von Insekten an zahlreichen Stellen durchlöchert worden waren, bemerkte man besonders an der Oberseite an allen Löchern am Wundrande ringsum eine Vernarbung durch ein neu gebildetes Gewebe, welches durch seine nicht grüne Farbe, höchstens leichte Rötung von

---

[1]) Studien über die Erscheinung der Verwachsung im Pflanzenreiche. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Wien, Bd. 9. IV., refer. in Botan. Zeitg. 1891. Nr. 23.

der angrenzenden alten grünen Blattmasse ziemlich deutlich sich unterschied, und durch welches die Weite des Loches etwas verkleinert, sehr kleine Löcher fast verschlossen wurden. Hier und bei vielen andern Pflanzen bildet sich hinter dem Vernarbungsrande ein geröteter Saum, indem die Zellsäfte der angrenzenden Zellen, Epidermis und Mesophyll sich in der gewöhnlichen Weise durch einen

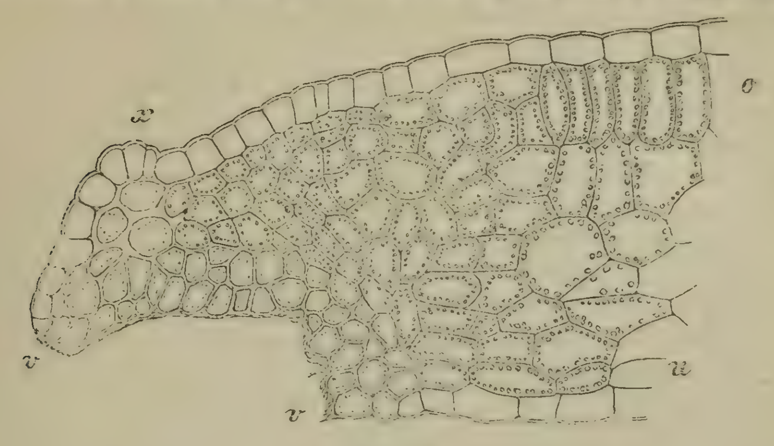


Fig. 13.

Heilung der Wundränder durch Insektenfraß durchlöcherter Blätter von Cornus sanguinea. Querschnitt des Blattes. vv der quer durch das Blatt gehende Wundrand mit Resten toter Zellen. Dahinter der neu gebildete Calluswulst, der besonders zwischen x und v unter Beteiligung der Epidermis stark entwickelt und entstanden ist unter Teilung der Mesophyllzellen nach allen Richtungen. Am rechten Rande zeigt das Mesophyll seine normale Gewebeform, o die Ober-, u die Unterseite des Blattes. 200fach vergr.

roten Farbstoff färben. Fig. 13 zeigt die stattgehabten Veränderungen an einem Blattdurchschnitte bis an den Rand der Wunde, welche hier mitten durch Mesophyll ohne Berührung eines Blattnerven gegangen war. Der rechte Rand der Figur zeigt wieder den unveränderten normalen Bau des Blattes; die Strecke von v bis v ist die durchlochte Stelle des Blattes. In dem Teile von x an erkennt man den nach der Verwundung gebildeten Calluswulst, und es ist sofort deutlich, daß hier auch die Epidermis sich daran beteiligt hat; das zwischen x und v liegende Stück Epidermis ist neu gebildet, und zwar augenscheinlich dadurch, daß die der Wunde angrenzenden unverletzten Epidermiszellen wie gewöhnlich durch Wände rechtwinklig zur Oberfläche sich geteilt haben. Auch an der Unterseite ist es deutlich, daß die hinter v liegenden Epidermiszellen etwas, wiewohl weniger lebhaft, durch Wände geteilt worden sind. In demselben Maße ist auch das zwischen den beiden Epidermen liegende Mesophyll an der Callusbildung beteiligt. Es hat also auch hier ein Hervorwachsen der Mesophyllzellen rechtwinklig zur Wundfläche stattgefunden, jedoch zugleich unter lebhafter Zellteilung in verschiedenen Richtungen, so daß der Callus hier in einer erheblich andern Form, nämlich als kleinzelliges parenchymatöses Gewebe erscheint. Dasselbe ist wiederum in der ganzen Wundfläche durch etwas dickere Membranen und durch einen verminderten farblosen Zellinhalt ausgezeichnet. Auch hier zeigte es die Reaktion des Korkes. Es fällt auf, wieweit von der Wundfläche aus rückwärts im Mesophyll die Folge der Verwundung in regerer Zellteilung ihren Ausdruck gefunden hat, wodurch der Unterschied des Pallisadengewebes an der Oberseite von den mehr isodiametrischen und weiten Zellen

in der Mitte und an der Unterseite das Blattes (wie er bei o und u hervortritt) ganz verwischt ist.

An Kräuterstengeln. Eine ähnliche Heilung durch Callus beschreibt Waldenburg[1]) bei Stichwunden in Stengeln krautartiger Pflanzen. Diese Wunden wurden durch Einbohren eines Dorn oder eines Stäbchens oder auch durch Hindurchziehen eines Fadens dem Stengel beigebracht. An Kartoffelstengeln hatten die unter einer dünnen Schicht zerstörten Gewebes zunächst an die Wunde angrenzenden Parenchymzellen sich bedeutend nach der Wundfläche hin verlängert, hatten ihre Membranen stärker verdickt und durch eine größere Anzahl paralleler dünnerer Scheidewände rechtwinklig zu jener Ausdehnungsrichtung sich geteilt, so daß das Ganze das Bild eines Korkgewebes zeigte. Bei den gleichen Verwundungen andrer Stengel, wie der Gurken und Kürbisse, scheint der Erfolg mehr dem oben an den Blättern von Cornus sanguinea erzielten entsprochen zu haben, indem die gegen die Wundfläche hin wuchernden Calluszellen durch Teilung nach verschiedenen Richtungen hin ein kleinzelliges unregelmäßiges Gewebe bildeten. An ebenso verwundeten Bohnenstengeln blieb Rinde- und Markparenchym unthätig und der Callus bildete sich nur aus dem Cambium. Quetschwunden, welche durch Quetschung mittelst einer Pincette an der Peripherie derselben Pflanzenstengel hervorgebracht wurden, heilten nach Waldenburg unter starker Wucherung von Callus aus den lebendig gebliebenen Parenchymzellen unter den durch den Druck getöteten Zellen, so daß sich eine aus festem Gewebe bestehende Anschwellung am Stengel bildete.

An Rüben. An den Rüben heilen die oberflächlichen Wunden, welche hier so häufig durch Fraß von Erdraupen, Drahtwürmern, Engerlingen ꝛc. hervorgebracht werden, gewöhnlich durch Callus. Die Wundfläche erhebt sich in Form einer parenchymatösen Wucherung von der Beschaffenheit des Rübengewebes, deren äußerste Zellen verkorken.

Callus an Stecklingen. 2. Callus an Stecklingen. Die Heilung der Schnittfläche der Stecklinge geschieht, wie oben erwähnt, bei manchen Pflanzen, namentlich da, wo das parenchymatische Gewebe vorwaltet, durch einfachen Abschluß mittelst einer Wundkorkschicht, bei vielen, besonders bei den holzigen, aber durch Callus. Dieser kann, wie zuerst Krüger[2]) gezeigt hat, durch verschiedene Gewebe der Schnittfläche, wie Cambium, Rinde- und Holzparenchym und Mark erzeugt werden. Nach Stoll's[3]) genaueren und ausgedehnteren Untersuchungen an sehr verschiedenen Pflanzenarten sind dieser Fähigkeit nur die eigentlichen Holzzellen, die Bastfasern und die Epidermiszellen unteilhaftig, und überall ist es das Cambium, welches dieses Wachstum hauptsächlich zeigt und zuerst damit beginnt, und bisweilen geht auch diese Thätigkeit vom Cambium allein aus. Die anderen Gewebearten, welche mit an der Callusbildung beteiligt sein können, also besonders die parenchymatischen

[1]) Krankheiten des Pflanzengewebes in Folge von Reizen ꝛc. Archiv f. pathol. Anat. XXVII. pag. 145. Taf. V.

[2]) Bot. Zeitg. 1860, pag. 369.

[3]) Über die Bildung des Callus bei Stecklingen. Bot. Zeitg. 1874, Nr. 46 ff.

Gewebe der Rinde und das Mark, verhalten sich nach Stoll bei den einzelnen Pflanzen ungleich, d. h. die eine oder andre dieser Gewebearten, die bei der einen Pflanze den Callus mit bilden hilft, besitzt bei einer andern diese Fähigkeit nicht. Die Neubildungen der verschiedenen Gewebepartien vereinigen sich unter der Schnittfläche zu einem zusammenhängenden Wulst, dem Callus. Dieser stimmt in der Zellenform nicht mit den Geweben überein, aus denen er hervorgegangen ist. Denn jedes der zur Callusbildung beitragenden verschiedenen Gewebe zeigt dieselbe Veränderung: Die Querscheidewände der der Schnittfläche zunächst liegenden unversehrten Zellen wölben sich vor, strecken sich weiter in die Länge, und die Zellen teilen sich wiederholt durch Querwände. Auch die Holzparenchymzellen können in dieser Weise an der Bildung des Callus teilnehmen; und selbst die Gefäße vermögen es, indem in ihrem Innern Thyllen entstehen, deren Bildung wir schon oben infolge von Verwundung kennen gelernt haben, und welche hier durch ihr Wachstum aus den angeschnittenen Gefäßen herausquellen. Später treten in den Zellen auch Teilungen in andern Richtungen ein, wodurch der Callus über die Schnittfläche sich weiter ausdehnt und die einzelnen Callus bildenden Partien sich berühren. Damit ist der Abschluß der Schnittfläche erreicht. Im Callus tritt aber nun eine weitere Differenzierung von Geweben ein. In den meisten Fällen beschränkt sich dieselbe auf die Herstellung eines korkbildenden Meristems etwa 2 bis 3 Zellschichten unterhalb der Oberfläche, wodurch an der Peripherie ein Verschluß durch Kork hergestellt wird. Außerdem kann sich auch direkt um die angeschnittenen Holz- und Bastbündel eine Lage von Kork innerhalb des Callus erzeugen. Im Callus selbst bilden sich bisweilen auch noch einige Zellen in besonderer Weise aus; so können zerstreute Gruppen Sclerenchymzellen mit stark verdickten, getüpfelten Membranen entstehen, oder im Cambium der angrenzenden Teile erscheinen einige neue Gefäße, die nach dem Callus hin gerichtet sind. Eine ganz ähnliche Callusbildung fand Magnus[1]) an Blattstecklingen von Hyacinthus orientalis. In einem Falle, bei Hibiscus reginae, beobachtete Stoll eine später eintretende, noch weiter gehende Differenzierung im Callus, in der bereits eine Annäherung an die folgenden Heilungsprozesse liegt: es bildet sich ein Meristem, welches von der Cambiumschicht der Schnittfläche aus unter dem Holz und dem Mark sich hinzieht; dasselbe stellt eine neue Cambiumschicht dar, welche nach Jahresfrist nach oben Holzelemente mit Markstrahlen, nach unten Rindenelemente absondert, so daß an

---

[1]) Bot. Ver. d. Prov. Brandenburg, 30. März 1873.

der Schnittfläche eine Kappe entsteht, deren einzelne Gewebe mit den gleichnamigen des Stecklings zusammenhängen. Die Nebenwurzeln, die der Steckling treibt, entspringen aber nie in, sondern dicht über dem Callus.

Regeneration von Cambium, Rinde und Holz aus Callus.

3. **Bedeckung der Wunde mit Callus, aus welchem Cambium, Rinde und Holz regeneriert werden.** Wenn Stengel oder Wurzeln Wunden bekommen, welche bis in das System der Fibrovasalbündel gehen und einen Defekt in diesen Gewebekomplexen zur Folge haben, so tritt zunächst auch wieder, von den teilungsfähigen Zellen der Wundfläche ausgehend, eine Bildung von Callus ein; in diesem aber konstituiert sich ein neues Cambium, durch welches dann für die verloren gegangenen Teile des Fibrovasalbündelsystems neue regeneriert werden.

An krautartigen Sprossen und Wurzeln.

Dieser Heilungsprozeß ist nur an Pflanzen von dicotyledonem Bau bekannt und in seinen Einzelheiten untersucht worden. An gespaltenen Stengeln krautartiger wie holziger Pflanzen ist die Möglichkeit dieser Heilung von Kny[1]) nachgewiesen worden. Derselbe brachte an jungen Internodien unterhalb der unverletzt bleibenden Stengelspitze einen durchgehenden Längsspalt an. Die Sprosse entwickelten sich meist ungestört weiter; auf den Schnittflächen der beiden Stengelhälften trat lebhafte Teilung der der Wunde zunächst liegenden Zellen des Markes, des Cambiums und der Rinde ein, es entstand ein callusartiges Gewebe, welches gegen die andre Hälfte des Internodiums sich vorwölbte. Nach einiger Zeit wurden in einer mehrere Zellschichten unter der Oberfläche liegenden Zone die Teilungen besonders lebhaft; es konstituierte sich hier ein Cambium, welches beiderseits sich dem Cambium der alten Fibrovasalstränge anfügte und von nun ab gleich diesem Holzelemente nach innen und Phloëmelemente nach außen absonderte. Auf diese Weise schloß sich der durch das Aufschlitzen geteilte Kreis der Fibrovasalbündel in jeder Hälfte zusammen, und wurde so verdoppelt. Die freie Seite der beiden Calluswülste hatte eine Korkschicht gebildet. Magnus[2]) beobachtete dieselbe Regeneration an der Schälwunde einer Möhrenwurzel. Hier war die äußere Rinde in einer gewissen Ausdehnung durch eine Verletzung abgelöst worden, und aus der klaffenden Öffnung der Wunde waren mehrere starke Wülste herausgewachsen, die vom regenerierten Cambium der Schälwunde gebildet worden waren.

An Schälwunden der Holzpflanzen.

Nicht wesentlich hiervon verschieden ist diejenige Form der Heilung der eigentlichen **Schälwunden der Holzpflanzen**, welche als **Bekleidung** der Wundfläche bezeichnet wird, weil sie in einer wirklichen **Regeneration der Rinde**, die auf der Wundfläche gleichzeitig vor sich geht, besteht. Wenn die Rinde ohne besondere Vorsichtsmaßregeln abgeschält wird, wie es also bei derartigen Verwundungen gewöhnlich geschieht, so tritt auf der entblößten Splintfläche selbst keinerlei Regeneration ein, die Heilung der Wunde geschieht dann durch die von den Wundrändern ausgehende sogenannte Überwallung, von welcher unten näher zu reden ist. Aber schon Duhamel[3]) war es be-

---

[1]) Sitzungsber. d. Gesellsch. naturf. Freunde zu Berlin, 19. Juni 1877.
[2]) Sitzungsber. des bot. Ver. d. Prov. Brandenburg, 28. März 1879.
[3]) Physique des arbres. II. pag. 42.

kannt, daß wenn man eine durch Ringelung des Stammes bloßgelegte Holzfläche vor dem Austrocknen schützt vermittelst eines um dieselbe gelegten Glaszylinders, auf derselben an verschiedenen Stellen Neubildungen von Gewebe entstehen, die sich vereinigen und aus denen eine neue Rinde sich bildet. Weitere Beobachtungen hat auch schon Treviranus[1]) mitgeteilt, nach denen der Versuch auch bei andern Arten von Bedeckung und sogar ohne solche gelingt. Meyen[2]) glaubte, daß diese Neubildung allein von den Markstrahlen ausgehe und betrachtete sie irrtümlich als eine anfangs strukturlose, gallertartige Masse, die aus den Markstrahlzellen ausgeschwitzt werde und sich dann erst zu Zellgewebe organisiere; auch Th. Hartig[3]) hielt die Markstrahlzellen für die einzigen hierbei thätigen Organe. Dagegen hat zuerst Trecul[4]) gezeigt, und nach ihm haben es andre, wie C. Koch[5]), Sorauer[6]) und Stoll[7]) bestätigt, daß die Regeneration der Rinde bei Schälwunden von dem gesammten Cambium ausgeht, welches am Holze haften bleibt, daß sie jedoch fehlschlägt, wenn dieses Gewebe entweder durch den Einfluß der Atmosphärilien verdirbt oder mechanisch zerstört worden ist. Letzteres erfolgt nicht bloß durch Abkratzen u. dgl., sondern es genügt dazu schon ein Abwischen mit dem Finger oder mit einem Tuche oder eine bloße Berührung. In allen solchen Fällen unterbleibt die Neuberindung. Besonders leicht gelingt der Versuch, wenn zur Frühlingszeit, wo die Rinde im Safte sich befindet, geschält wird, weil dann die Cambiumzellen sich leichter unversehrt trennen. Regenwetter hat nach Stoll einen ungünstigen Einfluß, wahrscheinlich weil durch das Regenwasser die Cambiumzellen getötet werden. Der Vorgang bei dieser Heilung besteht nach Trecul darin, daß sich aus dem stehengebliebenen Cambium ein Callus entwickelt, indem durch Querteilung der Cambiumzellen ein parenchymatisches Gewebe entsteht (Fig. 14). Dieses nimmt an Dicke nicht unbeträchtlich zu; indem alle äußeren Zellen desselben in radialer Richtung schlauchartig vorwachsen und sich dabei durch tangential stehende Längsscheidewände teilen. Die Anordnung der Zellen des Callus stellt daher ziemlich regelmäßige radiale Zellreihen vor, welche die Fortsetzungen derjenigen der Elementarorgane des alten Holzes sind. Darin liegt der Grund, warum das aus dem Callus neu sich bildende Holz hinsichtlich der Anordnung der Holzzellen und der Markstrahlen mit dem alten Holze, dem es sich auflagert, korrespondiert. Aus Trecul's Darstellung scheint hervorzugehen, daß entweder die innersten, dem alten Holze unmittelbar angrenzenden Zellen des Callus oder eine weiter nach außen liegende Zellschicht desselben die Beschaffenheit eines Cambiums annimmt, d. h. in der Teilung durch tangentiale Längswände andauernd fortfährt, während die von dieser Schicht aus einwärts liegenden Zellen wenigstens teilweise den Charakter von Holzzellen, Gefäßzellen und Markstrahlen, die nach auswärts liegenden die Eigenschaften des Rindengewebes annehmen. Zugleich konstituiert sich nahe der

---

[1]) Physiologie der Gewächse. II. pag. 222.

[2]) Pflanzenpathologie, pag. 15 ff.

[3]) Bot. Zeitg. 1863. pag. 286.

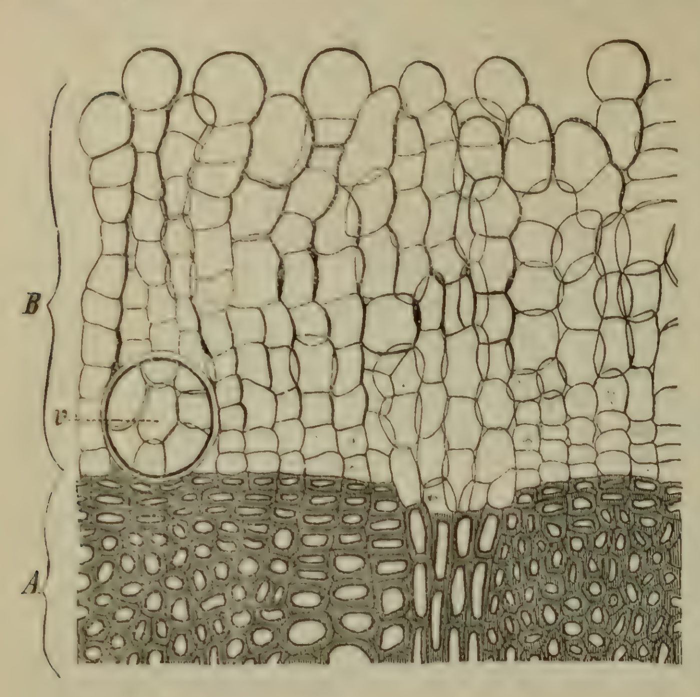
[4]) Reproduction du bois et de l'ecorce. Ann. des. sc. nat. sér 3. T. XIX. 1853, pag. 157 ff.

[5]) Wochenschrift der Gärtnerei und Pflanzenkunde 1872. Nr. 31.

[6]) Handbuch der Pflanzenkrankheiten, 1. Aufl. pag. 160. — 2. Aufl. pag. 561.

[7]) Bot. Zeitg. 1874. pag. 796.

Oberfläche des Callus ein Korkmeristem, welches die Korkschicht der neuen Rinde erzeugt. Wiewohl sämtliche Cambiumzellen der Erzeugung von Callus fähig sind, so zeigen doch Trecul's Untersuchungen, daß in manchen Fällen den an den Enden der Markstrahlen stehenden Zellen hierbei der größte Anteil zukommt, was auch nicht Wunder nehmen kann, da die Markstrahlen jedenfalls vorwiegend die zur Bildung des Callus bestimmten Nährstoffe zuführen. Man sieht oft die von den Markstrahlen ausgehenden Zellen des Callus reichlich vermehrt, förmliche Büschel von Schläuchen oder Zellreihen darstellen, die sich nach den Seiten hin weiter ausbreiten; daraus erklärt sich die Meinung älterer Beobachter, daß die Regeneration von den Markstrahlen allein ausgehe. Wenn im Frühjahre die Thätigkeit der Cambiumschicht beginnt, so werden in der Regel zuerst die großen Gefäße des Frühjahrsholzes gebildet, die deshalb weit in die Cambiumschicht vorragen. Wenn daher um diese Zeit Schälwunden gemacht werden, so erfolgen oft in den hinter den jungen



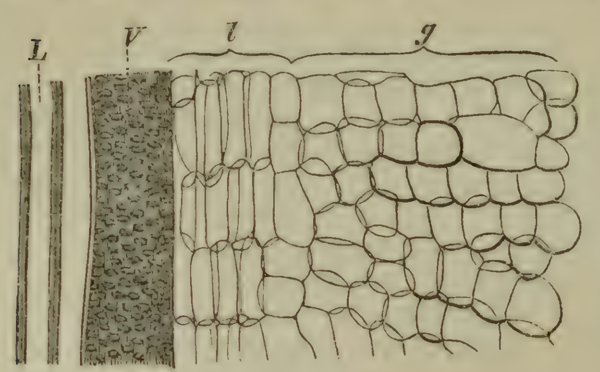


Fig. 14.

Regeneration der Rinde an einer Schälwunde des Holzkörpers von Robinia, im ersten Stadium nach der Verwundung die Bildung von Callus aus dem Cambium zeigend. A Querschnitt durch die jüngste Holzschicht, Holzzellen und einen Markstrahl zeigend. B die in radialen Reihen stehenden neugebildeten Calluszellen, die sowohl aus den vor den Holzzellen, wie aus den vor dem Markstrahle stehenden Cambiumzellen hervorgegangen sind. v ein vor der Verwundung gebildetes und stehengebliebenes großes Gefäß. — Darunter der radiale Längsschnitt durch eine solche Stelle. L Holzzellen, V ein Gefäß, l Cambiumzellen durch Querteilung zu Parenchymzellen geworden, g die aus diesen hervorgegangenen eigentlichen Calluszellen. Nach Trecul.

großen Gefäßen noch im cambialen Zustande befindlichen Zellen die Zellteilungen, welche zur Bildung des Callus führen. Die Folge ist, daß jene großen Gefäße vom alten Holze fortgerückt werden und daß man sie, wie Trecul beobachtete, bisweilen im Callus oder sogar auf der Oberfläche desselben haften findet. Hinsichtlich der feineren Struktur des bei der Regeneration auf Schälwunden entstehenden neuen Holzes fehlt es an genaueren Untersuchungen. Der in Rede stehende Prozeß kommt besonders an solchen Schälwunden vor, welche durch Frevel oder ähnliche Beschädigungen veranlaßt worden sind; auch durch Wild geschälte oder von Mäusen angenagte Stellen bekleiden sich bisweilen stellenweise mit regenerierter Rinde [1]).

Regeneration von Rinde und Holz auf der Innenseite von Rindenlappen.

Als besonderer Fall ist bemerkenswert die Erscheinung, wo an durch Frevel beschädigten Bäumen die am Stamme hängen bleibenden und an einer Seite mit der gesunden Rinde zusammenhängenden Rindenlappen auf ihrer Innenseite Holz und Rinde reproduzieren. Duhamel glaubte, daß diese Gewebe hier durch Umwandlung der Rinde entstehen. Trecul [2]) hat aber gezeigt, daß die an der Innenseite der abgelösten Rindenstreifen stehen bleibenden Cambiumzellen oder jüngsten Phloëmzellen durch Querteilungen ähnliches parenchymatisches Callusgewebe bilden, wie es im vorigen Falle erzeugt wird; im Innern desselben beginnen dann in einer gewissen Schicht die Zellen zu verholzen, zum Teil zu Gefäßzellen sich auszubilden; sowohl nach innen wie nach außen schließen sich daran andre verholzende Elemente, und die beiderseits an diese Holzlage angrenzenden teilungsfähigen Zellschichten fungieren danach augenscheinlich als Cambiumschichten, durch deren Thätigkeit die Holzlage innen und außen wächst. Bei dieser Verwundung hat, wie Trecul zeigte, das neugebildete Holz die abnorme Struktur des unten zu besprechenden Wundholzes, d. h. es besteht aus kurzen, parenchymatischen Zellen, und erst die fernerhin sich bildenden Holzelemente nehmen allmählich größere Länge an und spitzen sich zu, wodurch die normale Struktur des Holzes allmählich wieder erreicht wird. Der Erfolg ist derselbe, gleichgültig ob der abgelöste Rindenstreifen mit seinem obern oder mit seinem untern Rande an der stehen gebliebenen Rinde befestigt ist; nur mit dem Unterschiede, daß im ersteren Falle die sich bildende Holzlage stärker auszufallen pflegt, als im letzteren Falle, was aus der vorwiegend absteigenden Richtung der Bewegung der assimilierten Stoffe erklärbar ist. Hebt man dagegen einen Rindenstreifen, welcher oben oder unten mit der übrigen Rinde in Verbindung steht, vorsichtig ab, so bleibt nach de Vries [3]) gewöhnlich das Cambium unversehrt am Rindenstreifen; es entsteht zwischen ihm und dem alten Holze eine dünne Callusschicht; außerhalb derselben findet man eine neugebildete Holzschicht, auf deren Außenseite das ursprüngliche Cambium erkennbar ist; letzteres ist hier also in normaler Thätigkeit geblieben und deshalb hat auch das von ihm gebildete neue Holz einen ganz normalen Bau (ist kein Wundholz). Wenn aber der abgehobene Rindenstreifen bei diesem Versuche auf der Innenseite mit dem Messer quer verletzt und dadurch die Cambiumschicht an dieser Stelle getötet wird, so hat dies nach de Vries denselben Erfolg, als wenn der ganze Rindenlappen quer durchgetrennt ist, d. h. das über und unter dieser Wunde an der Innenseite des Baststreifens gebildete Holz nimmt den Charakter von Wundholz an.

---

[1]) Ratzeburg, l. c. II. pag. 207.

[2]) l. c. pag. 257.

[3]) Über Wundholz. Flora 1876. pag. 104.

Überwallung.

4. **Überwallung**, d. h. am Wundrande beginnende Callusbildung mit nachfolgender Differenzierung in Cambium, Rinde und Holz. Das Holz selbst ist keiner Regeneration von Gewebe fähig. Deshalb findet überall da, wo der Holzkörper selbst verwundet ist oder wo nach Abschälen und Abnagen der Rinde die Cambiumschicht zerstört ist, auf dem entblößten Holze keine Regeneration von Rinde noch irgend eine andre Neubildung statt. Auf der Wundblöße wird vielmehr das Holz trocken und dunkler, nimmt die Beschaffenheit des Schutzholzes an, oder geht wohl auch, wenn es lange unbedeckt bleibt, in Fäulnis über. Auch hier geht die zur Heilung führende Reproduktion nur von der lebendigen Cambiumschicht aus; diese befindet sich hier rings um den Rand der Wunde, denn jede bis aufs Holz gehende Verletzung durchschneidet notwendig Rinde und Cambium. Es wächst allmählich von den Wundrändern aus über die Holzblöße hin ein Wulst, welcher nach außen aus Rinde, innerlich aus Holz besteht und zwischen beiden Geweben eine neue Cambiumschicht besitzt, durch deren Bildungsthätigkeit die Wülste sich immer mehr ausbreiten, bis sie endlich die Wundfläche ganz verdeckt haben. Diese Erscheinung, die ausnahmslos bei allen Laub- und Nadelhölzern stattfinden kann, ist unter dem Namen **Überwallung** oder **Verwallung** bekannt. Um sich bei den hier stattfindenden Vorgängen orientieren zu können, unterscheiden wir die holzentblößenden Wunden ihrer Richtung nach in 1. Querwunden, wenn die Richtung der Verwundung (die Wundfläche) rechtwinklig steht zur Längsachse des Stammes, des Astes oder der Wurzel, mag es sich nun bloß um einen queren Einschnitt oder um eine vollständige Querschnitts- oder Bruchfläche handeln, und in 2. **Längswunden**, wo die Wundfläche der Stammachse parallel liegt. Die letzteren können wieder sein a) **Flachwunden**, wenn die Wundfläche tangentiale Richtung hat. Zu diesen würden auch diejenigen Schälwunden gehören, bei denen wegen Zerstörung der Cambiumschicht das Holz sich nicht mit regenerierter Rinde bedeckt. b) **Spaltwunden**, wenn der Holzkörper radial gesprengt ist. Im Grunde genommen können bei den Flachwunden nur die beiden longitudinalen Wundränder zu den Längswunden gezählt werden, während der obere und der untere Wundrand, je genauer sie quer gerichtet sind, die Bedeutung von Querwunden haben.

Entstehung der Überwallung.

Die erste Veränderung, welche am Wundrande eintritt und die Bildung des Überwallungswulstes einleitet, ist an Längs- und Querwunden gleich und nichts andres als die gewöhnliche Heilung der Wunden parenchymatischer und cambialer Gewebe durch Verschluß

mittelst Callus. Am Rande jeder Holzwunde sind Rinde und Cambium verletzt, und diese schmalen Wundstellen verheilen zuerst. Die am Wundrande liegenden Cambiumzellen und innersten jüngsten Phloëmzellen teilen sich durch Quer- und Längswände und bilden so einen aus isodiametrischen Zellen bestehenden Callus. Im ganzen älteren Rindengewebe aber differenziert sich nahe der Wunde ein korkbildendes Meristem, welches sich auf der einen Seite an das normale Korkmeristem unter der Oberfläche des Stammes ansetzt und parallel der Rindenwunde sich hinzieht in den von der Cambiumschicht gebildeten Callus (Fig. 15, k_1 k). In letzterem differenziert sich nun ebenfalls nahe der Oberfläche ein korkbildendes Meristem, als unmittelbare Fortsetzung jenes. Die Rindenwunde ist daher sehr zeitig durch eine Korkschicht verschlossen. Die letztere ist also die direkte Fortsetzung der oberflächlichen normalen Korkschicht des Baumes, des sogenannten Periderms, welches daher hier in einem Bogen sich nach der Holzblöße wendet. An der Außenseite desselben haften die den anfänglichen Wundrand bildenden Gewebepartien der Rinde und des Periderms, welche durch die neue Korkschicht abgeschnitten sind und vertrocknen. Die innersten Zellen des Callus, welche mit den ursprünglichen Cambiumzellen in Berührung stehen, nehmen nun ebenfalls den Charakter eines Meristems, nämlich des Cambiums, an. Die Teilungswände desselben orientieren sich so, daß sie der neugebildeten Korkschicht ungefähr parallel stehen. Es lenkt also auch die Cambiumschicht nach der Wunde hin um (Fig. 15 c). Aus dieser Orientierung des Korkmeristems und des Cambiums am Wundrande folgt, daß die von nun an aus diesen Meristemen erzeugten Zellgewebsmassen als ein Wulst über die Holzblöße hinwuchern. Derjenige Teil des anfänglich gebildeten Callus, welcher zwischen dessen Korkmeristem und dessen Cambium übrig bleibt, nimmt die Beschaffenheit von Rinde an. Diese erstarkt nun durch die anhebende Thätigkeit des Calluscambiums weiter. Ebenso bildet das letztere nun auch nach innen Holz. Da die Theilungswände dieses Cambiums zur Oberfläche des Überwallungswulstes tangential stehen, so liegen auch die hier gebildeten Holzzellen in radialen Reihen, die neue Cambiumschicht überall annähernd rechtwinklig schneidend, und haben gleichgerichtete Markstrahlen zwischen sich (vgl. Fig. 15 u). An Querwunden, sowohl an den oberen wie an den unteren, stehen diese Zellreihen des Überwallungsholzes zur Stammachse radial, in ungefähr gleicher Richtung wie die über oder unter ihnen stehenden des alten Holzes. An Längswundrändern dagegen divergieren sie. Denn hier bilden sich die der Wunde benachbarten in normaler Weise radial zur Stammober-

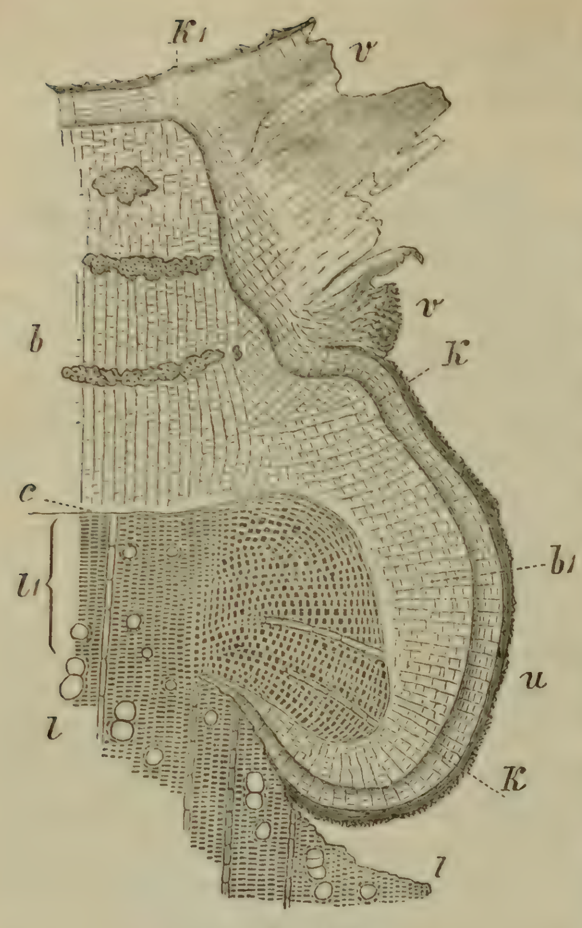


Fig. 15.

Anfang der Ueberwallung einer Flachwunde eines mehrjährigen Astes von Acer campestre. Querschnitt durch den Ast. ll das alte Holz am Wundrande (rechts die Holzblöße). l_1 das nach der Verwundung gebildete Holz. u der während dieser Zeit entstandene Anfang des Ueberwallungswulstes. c die Cambiumschicht, die sich in den Ueberwallungswulst fortsetzt. b Rinde. b_1 Rinde der Ueberwallung. kk das Korkmeristem der Ueberwallung, dasselbe setzt sich bis an das ursprüngliche des Astes fort, welches es bei k_1 erreicht. vv Wundstelle und abgestorbene Gewebeteile des Bastes außerhalb der neuen Korkschicht. 60fach vergrößert.

fläche fort, während die nach der Holzblöße plötzlich umgelenkte neue Cambiumschicht die Holzzellreihen in allen den Richtungen ablegt, die zu ihr rechtwinklig stehen, so daß dieselben hier in ungefähr einem Viertelkreisbogen divergieren (vergl. Fig. 15 u). Die Zusammensetzung jedes zuerst aus Callus hervorgehenden Holzgewebes ist aber, wie von Trecul, später auch von de Vries beobachtet wurde, eine abnorme[1]); dieses Wundholz ist von dem vor der Verwundung vorhandenen normalen Holz scharf abgegrenzt; die später folgenden Holzschichten werden dem normalen Holze um so ähnlicher, je später nach der Verwundung sie entstehen, bis zuletzt wieder normales Holz gebildet wird. Dieser Satz gilt zunächst für alles aus Callus hervorgehende Überwallungsholz sowohl an Quer-, wie an Längswunden. Da der Callus durch Querteilungen der Cambiumzellen entsteht und seine Zellen daher isodiametrisch sind, so haben auch die ersten daraus hervorgehenden Holzzellen ungefähr diese Gestalt, sind kurz und

---

[1]) Eine detaillierte Untersuchung des Baues und der Entstehung der Überwallungswulst bei Ringelwunden hat Sorauer (Pflanzenkrankheiten) 2. Aufl. I., pag. 545—556) gegeben.

parenchymatisch, nicht langgestreckt und zugespitzt, wie die normalen Holzfasern. Außerdem treten aber auch schon anfänglich in diesem Wundholze ähnlich wie im normalen Holze Gefäße in Gruppen stehend auf; es sind das aber nur enge, nicht normal weite Gefäße, und sie bestehen aus ebenfalls kurzen Gefäßzellen. Aber bald folgen Holzzellen, die etwas länger sind und anfangen sich zuzuspitzen, während andre ihre rundliche, polyedrische Form behalten und zu den Anfängen der Markstrahlen werden. So folgt auf die faserfreie Periode bald eine durch Holzfasern ausgezeichnete. Die Zahl der letzteren wird dann immer größer, so daß die Gefäßzellen, das Holzparenchym und die Markstrahlen auf das normale Verhältnis zurückgedrängt werden. Zugleich nehmen nun die Zellen der neuen Cambiumschicht durch wirkliches Längenwachstum allmählich wieder eine größere Länge an, so daß mithin auch die von ihnen abstammenden Holzzellen in gleichem Maße länger werden. Nach einiger Zeit ist das Holz des Überwallungswulstes wieder normal, und auch die Abgrenzung der Jahresringe, welche hier bogenförmig, der Oberfläche desselben parallel sind, ist deutlich ausgeprägt. So schiebt sich der Überwallungswulst infolge seines jährlichen Wachstums über die Wundfläche. Er behält seine convexen Ränder, die aber oft wegen des an jedem Punkte unabhängig von der Nachbarschaft stattfindenden Wachstums keine regelmäßige Grenzlinie bilden, sondern oft mehr oder weniger wellenförmig oder gekerbt sind. Die Überwallungen bieten daher ganz das Bild einer zähflüssigen Masse, welche sich langsam über eine Fläche hin ergossen hat. Wenn die Verwallungswülste ungestört sich fortentwickeln, so überziehen sie endlich die Wundblöße ganz, indem sie an irgend einem Punkte derselben zusammentreffen. Sie vereinigen sich dann wirklich miteinander, indem ihre Cambiumschichten sich aneinander schließen, so daß der Stamm von diesem Zeitpunkte an wieder ein kompletes, ringsum gehendes Cambium besitzt, und die von diesem Zeitpunkt an sich bildenden Jahresringe des Holzes gehen nun wieder als gleichmäßige Ringe um den ganzen Stamm herum.

Bildung von Wundholz außer an der Überwallung.

Außer am Überwallungsholze wird aber bei Querwunden, nicht bei Längswunden, auch bis zu einer gewissen Entfernung rückwärts von der Wunde abnormes Holz von derselben Beschaffenheit wie in jenem Falle gebildet, besonders am oberen, schwächer am unteren Rande von Querwunden. Es beruht dies darauf, daß die Querteilung der Cambiumzellen, die als nächste Folge der Verwundung eintritt, vom Wundrande aus rückwärts sich weiter erstreckt, was an ähnliche Erscheinungen bei der Bildung des Callus bei andern

Pflanzenteilen erinnert (pag. 67). So hat de Vries z. B. am oberen Wundrande einer Ringelwunde von Caragana arborescens bis in eine Entfernung von 2 Centim. über der Wunde, in Spuren sogar noch bis 7 Centim., die Abweichung im Baue des im ersten Jahre nach der Verwundung erzeugten Holzes gefunden. Unmittelbar über dem Wundrande wird kurzzelliges, parenchymatisches Wundholz mit eng- und kurzzelligen Gefäßzellen gebildet, ganz gleich demjenigen, welches aus dem Callus entsteht, und in welches dieses unmittelbar übergeht. Mit zunehmender Entfernung von der Wunde vermindert sich die Querteilung der Cambiumzellen, so daß endlich nur zwei- und einmal geteilte gefunden werden, und entsprechend nimmt die Abnormität des Holzes schrittweise mit der Entfernung von der Wunde ab. Das kurzzellige Wundholz des Wundrandes, dem die Holzfasern und weiten Gefäße fehlen, geht nach oben zunächst in eine Zone über, wo die Zellenlänge größer wird, aber Holzfasern und weite Gefäße noch nicht vorhanden sind; dann folgt eine Zone, wo die Zellen zum Teil sich zuspitzen und in Holzfasern übergehen; noch weiter oben ist durch Häufigerwerden der weiten Gefäße und der Holzfasern der normale Bau erreicht. Auch hier kehrt mit der Zeit die Holzbildung zur Norm zurück, weil in allen Entfernungen von der Querwunde die Cambiumzellen allmählich wieder normale Länge annehmen. Bei Längswunden, die der Achse parallel sind, tritt dagegen in dem unverletzten Teile seitlich der Wunde keine Querteilung der Cambiumzellen und kein abnormer Bau des Holzes auf. Schiefe Wunden, zu denen auch die Spiralwunden gehören, verhalten sich nach de Vries in dieser Beziehung wie Querwunden: stets erstreckt sich das Wundholz so weit, wie die Projektion der Wunde auf demselben Querschnitt, was besonders bei kurzen, schiefstehenden Wunden hervortritt, indem hier seitlich derselben kein Wundholz gebildet wird.

Heilung von Rindeneinschnitten.

Wird ein bloßer Einschnitt gemacht, der bis ins Cambium oder ins Holz dringt, wie es z. B. im Obstbau bei dem sogenannten Schröpfen geschieht, um den Druck, den die Rindenschichten dem Wachstum des Holzes entgegensetzen, zu mindern, so füllt sich die Wunde nach de Vries bald ganz mit Callus aus, der von der Cambiumschicht ausgeht und dieselben Bildungen erzeugt, wie in den vorigen Fällen. Wundholz wird, wenn es ein quergehender oder schiefer Einschnitt ist, in derselben Weise gebildet, aber in geringer Menge, denn sobald die Wunde durch den Callus geschlossen ist, bildet sich über die ganze Strecke nur noch normales Holz. Vertrocknen aber die Schnittränder, so daß das Holz sich nicht mit Callus bedecken

kann, dann wird die Wunde durch Überwallungswülste von beiden Seiten geschlossen[1]).

Überwallung der Flachwunden.

Je nach den oben bezeichneten verschiedenen Arten der Wunden richtet sich die Form der Überwallung. Es sei in dieser Beziehung hier nur im allgemeinen Folgendes hervorgehoben. Bei der Überwallung der Flachwunden schiebt sich der Überwallungswulst zwar von allen Rändern aus über die Wunde hin, aber meist von gewissen Seiten her stärker. Wenn die Wunde ihre größte Ausdehnung in der Längsrichtung des Stammes hat und selbst wenn sie ungefähr eine runde Fläche darstellt, wie bei den Astschnittflächen, so dringen die Überwallungswülste von den beiden seitlichen Rändern her rascher als von oben und unten vor, unter Bildung stark entwickelter Jahresringe im Holze, so daß die Wunde zuletzt kurz vor dem Zusammentreffen der Wülste wie eine elliptische Längsfurche erscheint. Bei größeren Flachwunden, wie besonders bei den Schälwunden, schreitet die Überwallung oft weniger gleichmäßig vor, an einzelnen Punkten viel rascher als an andern; besonders zeigen die vom oberen Wundrande herabdringenden Wülste das stärkste Wachstum, wegen der hauptsächlich abwärts sich bewegenden Wanderung der plastischen Nährstoffe. Unter Umständen kann eine Überwallung auch von der alten stehen gebliebenen toten Rinde bedeckt stattfinden, also äußerlich nicht sichtbar sein, wie es manchmal nach Borkenkäferfraß geschieht oder wie oben erwähnt bisweilen beim Gummifluß. Die alte Rinde fällt dann aber nach nicht langer Zeit ab. Bei den überwallten Flachwunden ist natürlich niemals eine wirkliche Verwachsung der Überwallung mit der toten Holzwundfläche eingetreten, sie liegt derselben nur mechanisch, allerdings innig, an, alle Vertiefungen derselben ausfüllend, und alle etwaigen Erhabenheiten derselben oder fremde Körper, denen die Überwallung begegnet, umhüllend. Auch wenn der Verschluß der Wunde durch die Überwallung vollständig geworden und äußerlich kaum noch eine Andeutung der Wunde zu sehen ist, bleibt doch die einstmalige Wunde auf dem Durchschnitte des Stammes kenntlich an einer dunklen Zone, welche eben das ehemals gebildete und nun unverändert gebliebene Schutzholz der Wundfläche vorstellt, sowie daran, daß die der Überwallung angehörigen Jahresringe bogenförmig gegen die ehemalige Wundfläche umgelenkt erscheinen.

Überwallung der Spaltwunden.

Die Spaltwunden des Stammes sind der Heilung durch Überwallung ungünstiger, weil dieselben in radialer Richtung tief in den Holzkörper eindringen, und eine sehr tiefe Spalte durch Überwallungs-

[1]) Sorauer, Handbuch der Pflanzenkrankheiten. 2. Aufl. I., pag. 638.

masse nicht ausgefüllt werden kann. Die letztere geht von beiden Rändern der Spaltwunde aus, und im günstigsten Falle kommen nach einiger Zeit die beiden gegenüberstehenden Überwallungswülste in Kontakt und zur Verwachsung, also daß immer die Spalte unter ihnen im Holzkörper bleibt. Oder wenn die Spalte zu breit ist und die Überwallungen nicht sich treffen können, so lenken die letzteren soweit nach innen um, als ihnen nach dorthin Spielraum gelassen ist. In beiden Fällen ist nun aber auch auf der Innenseite der Überwallung Rinde und thätiges Cambium vorhanden, und es findet daher in dieser Richtung ebenfalls jährlich Neubildung von Holz statt, wodurch mannigfaltige Wucherungen nach innen getrieben werden, die unter Umständen sogar den Hohlraum ausfüllen können.

Überwallung der Querwunden.

Die bemerkenswertesten Erscheinungen, welche die Überwallungen von Querwunden darbieten, sind die Ungleichheiten derselben an den oberen und unteren querstehenden Rändern der meisten Stammwunden, indem, wie bereits hervorgehoben wurde, gewöhnlich der obere Rand allein oder stärker als der untere eine Überwallung bildet. Am bekanntesten ist dieser Erfolg beim Ringelschnitt. Dasselbe Verhältnis spricht sich auch bei spiraligen Wunden aus, wie sie durch Einschnitte bei physiologischen Versuchen oder an Stämmen, die von Schlingpflanzen umwunden oder von Eichhörnchen oder Hornissen spiralig geschält sind, vorkommen: solche Stämme bekommen einen spiralig verlaufenden Holzwulst, der vom oberen Rande der Wunde ausgeht. In diesem Überwallungswulst biegen sich die Holzfasern schief nach abwärts, und es bleibt dann selbst an vieljährigen Wülsten die schiefe Richtung der Holzfaserung erhalten. Wenn zwischen zwei Baumstämmen Bänke angebracht sind, die bis ins Holz derselben eingesetzt sind, so breiten sich die Überwallungen auf der oberen Fläche der Bank aus.

Maserholz.

Maserbildung des Holzes bei Überwallungen. Das durch die Überwallungen erzeugte Holz, besonders das in den stärkeren und älteren Überwallungswülsten, hat mehr oder weniger diejenige Struktur, welche in der Holzindustrie unter dem Namen Maser, Wimmer oder Flader bekannt und geschätzt ist. Diese Struktur besteht kurz darin, daß die Holzfasern nicht den gewöhnlichen, geradlinigen und parallelen, sondern einen unregelmäßig gebogenen oder verschlungenen Verlauf haben, indem an der Cambiumschicht entweder wirklich andere Körper vorhanden sind, um welche die Holzfasern notwendig sich herumbiegen müssen, oder indem die Markstrahlen ohne zunächst nachweisbare Ursache infolge von Vermehrung ihrer Zellen bei geringer Länge eine so bedeutende Breite annehmen, daß ihr

Tangentialschnitt nicht die gewöhnliche, ans Linealische grenzende, lange schmal elliptische Form hat, sondern breit oblong oder nahezu kreisrund erscheint, so daß die benachbarten Holzfasern eben auch gekrümmten Verlauf bekommen müssen.

Die neueren Schriftsteller sind ziemlich einstimmig der Ansicht, daß die Maserbildung an und für sich nichts weiter als die unmittelbare Folge der Anwesenheit zahlreicher Adventivknospen ist. Mit aller Bestimmtheit hat dies zuerst Meyen[1]) ausgesprochen; die gleiche Ansicht vertritt Göppert[2]), und Schacht[3]) sieht wenigstens vorzugsweise in der Bildung vieler Nebenknospen die Veranlassung der maserigen Beschaffenheit des Holzes. Richtig ist, daß durch viele Adventivknospen der Verlauf der Holzfasern beeinflußt wird und daß Maserholz in der That vorzugsweise dort entsteht, wo solche Knospen in Menge sich gebildet haben, was eben besonders als Folge von Verwundungen eintritt. Wir sehen häufig eine Brut von Adventivknospen, hauptsächlich an Laubbäumen bei der Bildung der Stockausschläge, bei der Zucht von Kopfhölzern, sowie nach Wegnahme größerer Äste unter der Wunde, ebenso nach dem Pfropfen unter der Pfropfstelle sich entwickeln; das gleiche kann auch an Rindenwunden eintreten, besonders nach Ringelung der Äste oder Stämme am untern Wundrand. Ferner sind auch große Überwallungswülste, welche Überfluß an Nahrung haben, nicht selten zur reichlichen Bildung von Adventivknospen geneigt, also besonders diejenigen, welche bei einseitiger Entrindung des Stammes am obern Wundrande sich entwickeln. Adventivknospen können sich an Ästen, Stämmen und Wurzeln jeden Alters und an jeder Stelle bilden, wo ein lebensthätiges Cambium sich befindet. Sie entstehen in der Cambiumschicht, indem eine Gruppe von Zellen derselben sich lebhafter vermehrt und einen kleinen Zellgewebskörper, die Anlage der Knospe, bildet, der sich nach außen von der Rinde abgrenzt, nach innen mit der Cambiumschicht im Zusammenhange bleibt und durch eine Anzahl verholzter Zellen, die er bildet, sich mit dem Splint in Verbindung setzt. Wenn die Knospe auswächst, so durchbricht sie die Rinde, ihre Basis aber bleibt natürlich mit dem Splint verwachsen. Solche Adventivknospen haben in der Regel kein langes Leben, und je größer die Zahl ist, in der sie an einer Stelle beisammen gebildet werden, desto früher pflegen sie wieder abzusterben; einzelne treiben ein kurzes Zweiglein, welches aber bald zu wachsen aufhört und wieder vertrocknet, die meisten sterben schon als Knospen wieder ab. Die Überreste bleiben als kleine holzige Stiftchen stehen, deren jeder also eine im Durchschnitte runde oder elliptische Unterbrechung der Cambiumschicht bildet, ebenso wie im größeren Maßstabe jeder Aststumpf. Die Folge ist daher, daß die neuen Holzfasern, welche die Cambiumschicht bildet, dem Hindernis ausweichen müssen, sich beiderseits in schiefer Richtung um den kleinen Holzkörper der Knospe oder des Zweigleins legen. Wenn nun dicht nebeneinander fortwährend neue Knospen unregelmäßig angeordnet entstehen, wie es in den oben genannten Fällen häufig vorkommt, so wird dadurch natürlich auch der Verlauf der Holzfasern immer unregelmäßiger.

---

[1]) Pflanzenpathologie, pag. 86 ff.

[2]) Über die Folgen äußerer Verletzungen der Bäume, pag. 11. — Über Maserbildung. Breslau 1870.

[3]) Lehrbuch d. Anatomie u. Physiol. der Gewächse, II. pag. 67. — Der Baum, pag. 219.

Aber dadurch allein kann sich nur eine gröbere Maserung bilden; es kommen auch wirklich Fälle vor, wo die Maserung allein durch dieses Verhältnis veranlaßt wird, und dieses ist dann immer daran zu erkennen, daß in den Maschen der Masern die Holzkörper der Knospen oder Zweige stecken.

Weiter hat R. Hartig[1]) konstatiert, daß nicht bloß Adventivknospen, sondern auch andre Reste früherer Gewebe, wenn sie sich auf der zu überwallenden Holzfläche befinden, in derselben Weise der Überwallung lokale Hindernisse bieten können, welchen dieselbe ausweichen und die sie wie Inseln umfassen muß, wodurch maseriger Verlauf der Holzfaserung erzeugt wird. Er hat dies bei Überwallungen bemerkt, wo der Holzkörper noch mit alter Rinde bedeckt und durch Markstrahlen und Überreste von Rindengewebe mit dieser verbunden war; diesen Überresten muß die Überwallung ausweichen. Den gleichen Erfolg haben auch die Unebenheiten, welche die splittrigen Wundflächen des Holzes darbieten.

Aber die feine Maserung, welche meistens mit jener durch mechanische Hindernisse erzeugten zugleich, vielfach auch ohne diese und namentlich bei den ausgezeichnetsten Maserbildungen, den Maserkröpfen und den Maserknollen, die wir erst an späterer Stelle besprechen werden, in der schönsten Bildung sich zeigt, finden wir auch bei R. Hartig nicht aufgeklärt. Ich finde, daß weder die Adventivknospen noch andre mechanisch störende Körper allein die Maserbildung erklären, sondern daß der gebogene Verlauf der Holzfasern auch durch eine veränderte Zusammensetzung des Holzes, nämlich durch eine abnorme Vergrößerung und Formveränderung der Markstrahlen bedingt wird. Während im normalen Holze die sogenannten großen Markstrahlen in der Tangentialfläche betrachtet eine sehr schmale elliptische oder linealische Form haben, indem sie in der Richtung der Faserung des Holzes sehr lang gestreckt sind, werden sie im Maserholz so kurz und so breit, daß viele im Tangentialschnitte (also wenn man die Oberfläche des Splintes betrachtet) ziemlich kreisrund oder oblong erscheinen. Der Durchmesser beträgt dabei das Mehrfache der normalen Breite. Diese Markstrahlcylinder sind die Kerne der Maschen. Um sie herum laufen die aus Gefäßen, Holzzellen und gewöhnlichen kleinen Markstrahlen bestehenden Holzstränge, entweder in Form einer Ellipse, indem sie sich über und unter dem Markstrahl wieder vereinigen und eine Strecke weit parallel fortlaufen, oder in einem vollständig geschlossenen Kreise ringsum, eine wirkliche Schlinge bildend (Fig. 16 B). Im letzteren Falle läuft um diesen Holzstrang oft ebenfalls kreisförmig ein etwas breiter Markstrahl, und so können konzentrisch mehrere mit parallelen Markstrahlen abwechselnde Holzstränge um einen centralen Markstrahlcylinder geordnet sein. Das sind die sogenannten Augen der Maser. In nächster Nachbarschaft steht wieder ein solches Auge und oft sind mehrere wieder von einem in unregelmäßig geschlungenem Verlaufe in sich geschlossenen Ringe eines Systems von Holzsträngen und Markstrahlgeweben umzogen, oder zwischen ihnen schlängeln sich auf weitere Strecken hin andre Holz- und Markstrahlstränge, die nicht in sich zurücklaufen (Fig. 16 A). Darin liegt die charakteristische Struktur des Maserholzes. Am deutlichsten tritt dieselbe hervor, wenn das Holz von der Rinde entkleidet ist, auf der dann sichtbaren Oberfläche des Splintes. Da nämlich die Endigungen der Markstrahlmassen nicht bis ganz an die Oberfläche verholzt sind, so trocknen sie etwas mehr zusammen und erscheinen auf der Splint-

[1]) Zersetzungserscheinungen des Holzes, pag. 136. Taf. XIX. Fig. 5—8.

fläche etwas vertieft, so daß die etwas erhabenen Holzstränge in ihrem eigentümlichen Verlaufe hervortreten, ähnlich wie die Windungen des Gehirnes. Zum vollen Verständnis des Baues des Maserholzes muß aber bemerkt werden, daß die beschriebene Zeichnung sich nur darbietet bei Betrachtung von der Oberfläche oder im tangentialen Längsschnitt. Es setzt sich nämlich an jeder Stelle die vorhandene Anordnung der Holzgewebe auch in den successiven un-

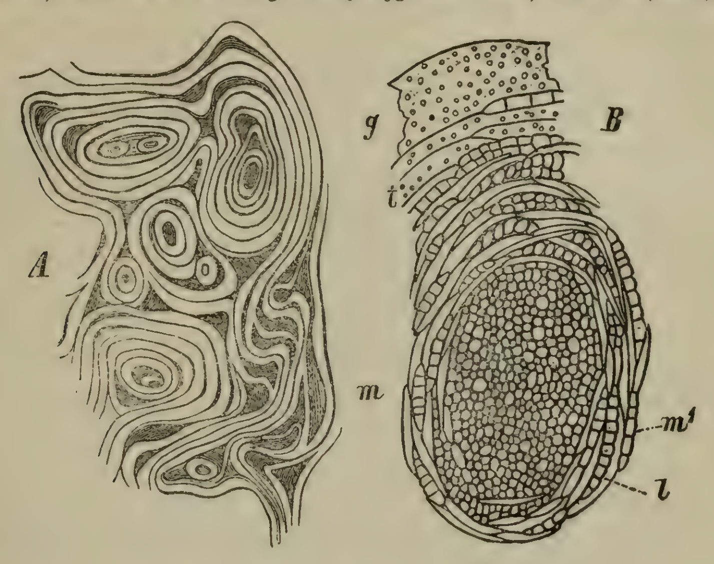


Fig. 16.

Maserholz der Eiche. A Stück eines Maserkropfes von der Splintfläche gesehen, den Verlauf der Holzstränge zeigend, wenig vergrößert. B Tangentialer Durchschnitt durch eine Masche des Maserholzes. Im Centrum (bei m) ein großer Markstrahlcylinder aus lauter lebenden, oft stärkeführenden Zellen bestehend. Ringsum ein kreisförmig geschlossener Holzstrang, dessen Zusammensetzung nur am obern Rande weiter ausgeführt ist; l Holzfasern, m¹ kleine Markstrahlen, t Tracheïden, g Gefäß. 90fach vergrößert.

gleichalterigen Schichten des Holzes in derselben Form wenigstens eine Strecke weit fort: wenn man etwas tiefer wieder tangential einschneidet, so hat man dasselbe oder ein ähnliches Bild der Maserung, wie es an der Oberfläche zu sehen war. Die eigentümliche Verteilung von Markstrahlgewebe und Holzsträngen wird also durch die Cambiumschicht continuierlich fortgebildet, und darum zeigt auch die darüber liegende secundäre Rinde in ihren Bastfasern dieselbe Maserung wie das Holz, weil die großen Markstrahlmassen sich in derselben Zahl, Form und Größe auch dorthin fortsetzen. Bei der großen Veränderung, die der Bau des Holzes in tangentialer Richtung erlitten hat, ist es um so bemerkenswerter, daß er in radialer Richtung nichts von seinen sonstigen Eigentümlichkeiten eingebüßt hat. Denn auf dem Querschnitt z. B. durch Eichenmaserholz unterscheidet man deutlich die Jahresringe, welche in ununterbrochenem Verlaufe und parallel untereinander und mit der Oberfläche des Holzes gelagert sind, auch überall in ihrem Frühjahrsholze durch die weiten nadelstichförmigen Gefäße ausgezeichnet. In den Holzsträngen finden sich außer den Gefäßen auch die übrigen normalen Bestandteile des Holzes, sogar normale kleine Markstrahlen. Die Holzstränge sind (bei der Eiche) auf

dem Querschnitt an der bräunlichen, die Markstrahlenmassen an der weißlichen Farbe zu erkennen und man sieht auf das deutlichste beide überall in radialer Anordnung; nur sind wegen des tangential in allen möglichen Richtungen schiefen Verlaufes beide Gewebe auch in den verschiedensten Richtungen durchschnitten: hier erscheint der Markstrahl nur als eine feine weiße Linie, dort ist er gerade in der Richtung seiner Längsachse durchschnitten und stellt einen breiten weißen Streifen dar. Dasselbe zeigen die Holzstränge, und die weiten Gefäße sind dem entsprechend in allen Richtungen durchschnitten: hier quer, dort schief, wieder an andrer Stelle ziemlich in ihrer Längsachse, so daß sie wie eine feine Furche auf der Schnittfläche erscheinen. Das Maserholz ist also in seinem anatomischen Baue dem normalen Holze in allen wesentlichen Punkten gleich, nur mit der Ausnahme, daß die Holzstränge, wegen der veränderten Beschaffenheit gewisser Markstrahlen, in tangentialer Richtung anders orientiert sind. Oft ist in solchem Holze nirgends eine Spur von Adventivknospen oder alten Zweigen zu finden. Die großen Markstrahlcylinder erweisen sich deutlich als lebendiges, mit den angrenzenden Holzsträngen in organischer Verbindung stehendes Markstrahlgewebe, ihre Zellen sind sämtlich während des Winters überaus reich mit Stärkemehl erfüllt.

Die hier vorgetragene Ansicht, daß Maserholz auch ohne Beteiligung von Adventivknospen oder sonstigen dem Cambium fremden Körpern, nämlich durch eine bloße vom Cambium ausgehende veränderte Zusammensetzung des Holzes, insbesondere durch Verbreiterung der Markstrahlen entsteht, habe ich schon in der ersten Auflage dieses Buches geltend gemacht. Unter den früheren Schriftstellern finde ich nur bei Schacht[1]) Angaben, welche das Auftreten von Maserholz ohne Adventivknospen zu bestätigen scheinen; derselbe erwähnt, daß an mehrhundertjährigen Tannen und Kastanienbäumen „am glatten Stamme" die letzten Holzbildungen wunderschöne Masern zeigten.

Übergang von normalem Holz in Maserholz.

Nach dem Vorstehenden ist zu erwarten, daß es zwischen der normalen und der maserigen Beschaffenheit des Holzes gar keine Grenze giebt. In der That kann man auch alle Übergänge von der einen zu der andern verfolgen. Wo z. B. das Holz in einen Überwallungswulst sich fortsetzt, werden die Markstrahlen ganz allmählich kürzer und breiter, und so bald sie sich etwas häufen, kommt notwendig der Verlauf der Holzstränge in Unordnung. Es ist unverkennbar, daß dies zuerst an solchen Punkten beginnt, wo es der wachsenden Holzschicht in tangentialer Richtung an Raum gebricht und die Holzfasern sich gegenseitig drängen, also besonders da, wo die Überwallung eine Falte oder Bucht bildet; daher denn auch vorzüglich zwischen Adventivknospen. Sobald ein gewisser Grad des schiefen Verlaufes der Holzfasern und der Erweiterung der Markstrahlen erreicht ist, scheint das Verhältnis bei weiterem Zuwachs des Holzes sich noch mehr zu verstärken. Befördernd in diesem Sinne wirkt offenbar die Ungleichheit, mit welcher die Überwallung an den einzelnen Punkten zu wachsen pflegt, sowie die fortschreitende Neigung, Adventivknospen zu bilden, welche namentlich bei großer älterer Überwallung so häufig sich zeigt.

Es ist hiernach auch selbstverständlich, daß gemasertes Holz noch bei vielen andern Gelegenheiten zu erwarten ist, die gar nicht zu den Überwallungen, also zu den Wundenheilungen gehören, und also auch hier nicht zu erörtern sind, nämlich überall da, wo die tangentiale Oberfläche der wachsenden

---

[1]) Lehrbuch d. Anatomie u. Physiol. 2c. II. pag. 67.

Holzschicht keine ebene, sondern eine stark gekrümmte Fläche bilden muß, also vornehmlich bei den verschiedenartigen, teils durch parasitäre, teils durch nicht parasitäre Einflüsse hervorgerufenen lokalen Anschwellungen und Auswüchsen, bei denen der Holzkörper beteiligt ist und welche eben wegen der hierbei eintretenden charakteristischen Holzstruktur als Maserknollen oder Maserkröpfe bezeichnet werden. Von diesen Mißbildungen wird erst an verschiedenen späteren Stellen die Rede sein können.

Verwachsungen von Stämmen, Zweigen und Wurzeln mit einander

5. Verwachsungen von Stämmen, Zweigen und Wurzeln miteinander. Als eine Heilung von Wunden ist auch die organische Verwachsung zwischen zwei Stämmen, Zweigen oder Wurzeln einer oder verschiedener Pflanzen zu betrachten, weil ihr stets eine Verwundung vorausgeht. Ebenso wie leblose fremde Körper in den Bereich des Dickenwachstums eines Stammes kommen, und dann von diesem umwallt werden können, gehen auch Baumstämme oder Zweige oder Wurzeln, die durch ihre Nähe zusammengeraten, mehr oder weniger feste Verwachsung mit einander ein. Diese findet bald der Länge nach statt, wenn die betreffenden Teile parallel stehen, bald in schiefer Richtung, ja selbst rechtwinkelig, wenn die beiden Teile sich kreuzen. So lange die Organe von ihrer Rinde bedeckt sind, kann keine Verwachsung stattfinden. Daher drücken sie sich unter solchen Umständen wohl in einander ein und verursachen die Täuschung, als seien sie verwachsen, während sie in Wahrheit nur schwach an einander haften und mit leichter Mühe zu trennen sind. Wenn aber die Teile sich berühren und einen Druck auf einander ausüben, so wird durch die gegenseitige Reibung die Rinde immer mehr vermindert, bis endlich die beiderseitigen Cambiumschichten zur Vereinigung kommen, und erst dann kann Verwachsung eintreten. An den Rändern der Kontaktstelle tritt gewöhnlich die Rinde stärker hervor, sie bildet zwei durch eine mehr oder weniger tiefe Furche getrennte erhabene Leisten, gleichsam wie durch den Druck gequetscht und herausgedrückt, was aber wohl weniger eine mechanische Quetschung, als eine stärkere Ernährung in Folge der Stauung des Nahrungssaftes sein möchte. Da die Berührung in der Regel nicht an allen Stellen gleichmäßig erfolgt, so bleiben an der Kontaktfläche auch noch Rindenteile vertrocknet stehen. Ebenso kann die Cambiumschicht an solchen Stellen, wo die beiderseitigen Holzkörper einander gerade gegenüber stehen, wegen Raummangel sich nicht weiter entwickeln und stirbt daselbst ab. Daher ist auf Querschnitten die Grenze zwischen den beiden Holzkörpern gewöhnlich auch später an einigen Resten alten Gewebes noch zu erkennen. Eine fortbildungsfähige Verwachsung findet aber da statt, wo an den Rändern der Kontaktfläche die beiderseitigen Cambiumschichten auf einander treffen. Hier vereinigen sie sich zu einer Schicht, welche nun

die beiden Holzkörper zusammen umgiebt. Von nun an legt sich jährlich ein gemeinsamer Holzring um beide. Zunächst ist derselbe nicht kreisförmig, denn wegen des Winkels, den beide Stämme an der Seite ihrer Kontaktfläche bilden, beschreibt er daselbst eine Einbuchtung, die aber von Jahr zu Jahr sich mehr ausgleicht. Nach langer Zeit ist aus beiden ein Stamm mit kreisförmigen einfachen äußeren Jahresringen geworden; auf dem Durchschnitte zeigt er seinen Ursprung aus zweien an den beiden eingeschachtelten Holzkörpern mit je besonderen Markcentren und Jahresringen. Es ist hiernach leicht erklärlich, warum Stämme mit starker Borkebildung weniger leicht verwachsen als glattrindige. Sehr bemerkenswert aber ist der Einfluß der natürlichen Verwandtschaft. Nach Göppert's[1]) bestimmter Behauptung, gegenüber den mancherlei gegenteiligen Angaben[2]), die er als Täuschungen bezeichnet, findet zwischen Stämmen verschiedener Pflanzenfamilien keine Verwachsung statt und ebenso wenig zwischen Stämmen zweier verschiedener Arten, mit alleiniger Ausnahme der Fichte und Tanne. Gelegenheit zu Verwachsungen von Stämmen und Ästen ist besonders in dichten Hecken und Lauben gegeben; ferner verwachsen junge Baumstämme, welche dicht beisammen stehen, im Laufe der Zeit nicht selten miteinander. Zwischen Baumwurzeln im Boden finden die häufigsten Verwachsungen und zwar in allen möglichen Richtungen statt; auch bei ihnen geschieht die Verwachsung durch die miteinander zu Berührung kommenden beiderseitigen Cambiumschichten. Eine andre Art von Wurzelverwachsung hat Franke[3]) bei Epheu und Hoya carnosa beschrieben: nebeneinander befindliche Wurzeln verschmelzen mit ihren papillenartig auswachsenden Epidermiszellen; später entwickelt sich die Rinde und das Cambium an der Berührungsstelle nicht weiter, aber am Rande verschmelzen die Cambiumschichten zu einer gemeinsamen, beide Wurzeln umfassenden Schicht. — Von der Verwachsung, welche an den Durchschnitten durch einen und denselben Pflanzenteil eintritt, ist oben S. 66 die Rede gewesen.

Eine reiche Zusammenstellung von Angaben über Verwachsungen lebender Pflanzenteile findet man bei Moquin-Tandon[4]). Es sei davon hier nur folgendes hervorgehoben. Auch krautartige Teile sind unter sich verwachsen gefunden worden, so z. B. zwei Möhrenwurzeln, oder die Wurzel einer Möhre und einer Runkelrübe; eine Wurzel von Silybum marianum, von einem dünnen Grashalme durchsetzt, bestand aus einer Haupt- und einer Nebenwurzel, welche, nachdem sie den Halm zwischen sich gefaßt hatten, mit einander verwachsen waren;

---

[1]) Über innere Vorgänge bei dem Veredeln. Kassel 1874, pag. 15.
[2]) Vergl. auch Moquin-Tandon, Pflanzen-Teratologie, pag. 277.
[3]) Cohn's Beiträge zur Biologie d. Pfl. III, Heft 3.
[4]) l. c. pag. 268—279.

zwei Ranunkelstengel mit einander verwachsen und zwischen ihnen ein Schaft der Maasliebe hervorsproßend. In diesen und einigen andern dort angeführten, ihrer Glaubwürdigkeit nach zweifelhafteren Fällen ist nichts darüber mitgeteilt, welcher Art die Verwachsung war und ob dabei eine wirklich organische Vereinigung der beiderseitigen Organe stattgefunden hatte oder ob die Erscheinung mehr derjenigen an die Seite zu stellen ist, die bei fleischigen Hymenomyceten allgemein bekannt ist, welche fremde Körper, wie Kiefernadeln, Grashalme, Zweigstücke ꝛc. umwachsen und einhüllen. Ebenso möchte, wenn Samen in Baumhöhlen keimen und dann Stengel einer fremden Pflanze aus dem Baume hervorwachsen und sich immer mehr mit ihm verbinden, gewöhnlich wohl an keine organische Vereinigung zu denken sein. Die bemerkenswertesten Fälle des Verwachsens holziger Pflanzenteile sind folgende. Mehrfache Bäume entstehen entweder aus einer Verwachsung mehrerer besonderer nahe beisammen stehender Stämme. So eine Eiche in den Ardennen („l'Arbre des quatre fils d'Aymon“), deren 7 m 33 cm im Umfang messender Stamm aus 4 dicken Stämmen zusammengesetzt ist, die durch Annäherung etwa 3 Meter lang zusammengewachsen sind. Sorauer[1]) beschreibt zwei mit den Stämmen in mittlerer Höhe verwachsene Kiefern, deren eine dann bis zu ihren Wurzeln abgestorben, von dem andern Stamme ernährt wird. Oder aus der Verwachsung eines alten Stammes mit mehreren Schößlingen, wie man einen Kastanienbaum auf dem Ätna („Castagno di cento cavalli“) erklärt, dessen Stammumfang 58 Meter beträgt. Zwei Stämme können auch mittelst eines quergehenden Astes des einen Stammes mit einander verwachsen. Bei den um Baumstämme geschlungenen Lianen können die Verzweigungen unter sich, wo sie sich begegnen, so vielfach verwachsen, daß sie ein netzförmig durchbrochenes Gehäuse um den Stamm bilden. Auch Baumwurzeln hat man unter einander zu einem großen Netz verwachsen gefunden.

Verwachsungen beim Veredeln.

Ein hieran sich schließender Heilungsprozeß ist die Verwachsung zwischen dem Auge oder dem Pfropfreis und dem Wildling beim Veredeln. Auch diese Verwachsungen beruhen allgemein darauf, daß die Cambiumschichten der beiden Teile mit einander in Berührung gebracht werden und sich danach in organische Kontinuität setzen, was zur notwendigen Folge hat, daß auch die dann sich bildenden Holz- und Rindenschichten beider Teile im Zusammenhange stehen, somit der Impfling wie ein Zweig des Wildlings sich verhält. Alle Veredelungsarten, die wir mit Erfolg anwenden, das Okulieren, das Pfropfen in die Rinde, das Pfropfen in den Spalt und die Kopulation, kommen darin überein, daß Cambium mit Cambium, Splint mit Splint und Rinde mit Rinde zusammentreffen. Die hierbei stattfindenden Vorgänge sind von Göppert[2]) und noch eingehender von Sorauer[3]) untersucht worden. Beim Okulieren und Pfropfen in die Rinde hebt man die Rinde des Wildlings ab; auf dem entblößten Holzkörper desselben

[1]) Pflanzenkrankheiten, 2. Aufl. I, pag. 698.

[2]) l. c. pag. 2. ff., sowie bereits in der Schrift Über das Überwallen der Tannenstöcke. Bonn 1841, pag. 21.

[3]) Bot. Zeitg. 1875, pag. 202.

wird derselbe Vorgang eingeleitet, wie bei der Neuverbindung von Schälwunden, vorausgesetzt, daß bei der Operation nicht die Cambiumschicht zerstört worden ist. Es entwickelt sich aus dieser ein parenchymatisches Gewebe. Dasselbe geschieht auch in den Winkeln der abgehobenen Rindenlappen und auf der Innenseite dieser. Dieses Gewebe verholzt und besteht dann aus dickwandigen, getüpfelten, unregelmäßig polyedrischen Zellen, etwa von der Größe der Markstrahlenzellen und ist gleich diesen mit Stärkemehl versehen. Dieses intermediäre Gewebe Göppert's, oder Kittgewebe Sorauer's füllt die Zwischenräume zwischen den abgehobenen Rindenlappen und zwischen dem Holze des Wildlings und des Edelreises aus und stellt die dauernde Verbindungsschicht zwischen beiden dar. Das Cambium des Edelreises bildet an den Rändern der Schnittfläche normale Überwallungen, und Rinde, Cambium und Holz der Überwallung setzen sich nun mit den gleichnamigen Geweben des Rindenlappens in Verbindung. Denn der letztere enthält eine thätig gebliebene cambiale Schicht, welche die Fortsetzung des Cambiumringes von dem unverletzten Teile des Wildlings ist; dieselbe erzeugt nach der Bildung des intermediären Gewebes wieder normal gebautes Holz. Auf diese Weise wird wieder ein geschlossener Cambiumring um den ganzen Stamm samt Edelreis hergestellt. Über der Veredelungsstelle schneidet man den Wildling ab. Diese Schnittfläche verheilt durch Überwallung, die sowohl vom Wildling wie vom erstarkenden Edelreis ausgeht. Bei der Kopulation erfolgt die Heilung der sich genau deckenden beiderseitigen Wundflächen durch Überwallungen, die mit einander verschmelzen. Das Gleiche gilt vom Pfropfen in den Spalt. In diesen beiden Fällen drängt sich die Überwallung, anfänglich in Form von intermediärem Gewebe, in den Spalt der Wundflächen ein, ohne jedoch mit diesen zu verwachsen; dasselbe vertrocknet später und ist noch in den ältesten Stämmen in Gestalt einer schwarzen Linie wahrzunehmen. An der Vereinigungsstelle von Edelreis und Wildling erleiden die Cambiumschichten bei allen Veredelungsarten eine leichte Biegung, die sich den nächstfolgenden Holzlagen mitteilt und sich durch den ganzen Stamm fortsetzt. In älteren Stämmen erscheinen auch Pfropfreis und Wildling durch eine verschiedene Färbung geschieden. Dieser inneren Demarkationslinie entspricht auch eine äußere, welche genau in der Richtung jener auf der Außenseite der vereinigten Stämme sich befindet und durch abweichende Rindenbildung, sowie auch wohl durch verschiedene Stärke der beiden Stämme sich kenntlich macht; denn die letzteren behalten mit ihren übrigen Eigentümlichkeiten auch die ihnen eigene verschiedene Wachstumsintensität bei. Zum Gelingen der Veredelung ist nach

Vorstehendem erforderlich, daß das cambiale Gewebe der beiden Teile nicht zerstört wird; es muß also jede Berührung der zum Verwachsen bestimmten Schnittflächen vermieden werden. Auch ist es begreiflicherweise vorteilhaft, möglichst kleine Schnitte zu machen und wenig umfangreiche Zweige oder Stämme zu wählen.

Regeneration eines Vegetationspunktes aus Callus.

6. Regeneration eines Vegetationspunktes aus Callus. Das höchste, was ein nach Verwundung entstandenes Callusgewebe zu erzeugen vermag, ist ein neuer Vegetationspunkt, durch welchen eine Wurzel oder ein Stengel, wenn sie den ihrigen durch eine Verwundung verloren haben, weiter zu wachsen fähig werden. Solcher Fälle sind aber nur wenige bekannt.

An den Wurzeln der Angiospermen (beobachtet am Mais und an Leguminosen; die Koniferen scheinen dessen nicht fähig zu sein) tritt nach Prantl[1]), wenn die Wurzelspitze abgeschnitten worden ist, eine vollständige Regeneration des Vegetationspunktes ein, durch den die Wurzel wieder weiter zu wachsen fähig wird. Ist der Schnitt sehr nahe hinter der Spitze gemacht worden, dort, wo die bogige Anordnung der Zellen des Vegationspunktes in die gerade übergeht, so bildet sich zunächst aus allen Zellen der Schnittfläche in der gewöhnlichen Weise ein Callus. Dieser hat die Form einer Kugelschale, weil das Wachstum der Zellen von der Epidermis nach dem centralen Fibrovasalkörper hin zunimmt. Die Abstammung des Callus aus allen Geweben zeigt sich hier deshalb besonders deutlich, weil die Zellen der Wurzel in Längsreihen geordnet sind und die Zellreihen des Callus die unmittelbare Fortsetzung derselben bilden. In einem zweiten Stadium differenziert sich in diesem Callus eine neue Epidermis, indem von außen beginnend in jeder Zellreihe eine Zelle in der für die Epidermiszellen charakteristischen Weise sich ausbildet und von nun an durch radiale Wände sich teilt. Die neue Epidermis stammt sonach aus allen einzelnen Geweben des alten Wurzelkörpers. Der außerhalb der neuen Epidermis liegende Teil des Callus fungiert als Wurzelhaube. Die Regeneration des Vegetationspunktes erreicht nun ihre Vollständigkeit dadurch, daß die unter der neuen Epidermis liegenden Zellen durch Teilungen sich vermehren, so daß nun Rinde und Fibrovasalkörper aus ihren gleichnamigen Geweben ebenfalls regeneriert werden. Während dieses Heilungsprozesses geht das Längenwachstum der Wurzel ungestört fort, soweit es auf der Streckung und Teilung derjenigen Zellen beruht, die der wachsenden Region des Wurzelkörpers angehören, welche hierbei unversehrt geblieben ist. Wenn aber die Wurzelspitze etwas weiter hinter dem Scheitel quer abgeschnitten wird, so findet diese Längsstreckung nicht statt, indem die Zellen der Rinde hinter dem Schnitt in Dauergewebe übergehen. Damit hängt es auch zusammen, daß in diesem Falle die Regeneration des Vegetationspunktes in einer andern Weise erfolgt. Es wächst nämlich nur aus dem Procambium des Fibrovasalkörpers ein fortbildungsfähiger Callus hervor, in welchem sich dann in derselben Weise ein neuer Vegetationspunkt constituiert; das übrige Gewebe der Schnittfläche bildet nur unbedeutend Callus. Durch dieselben Prozesse findet

[1]) Untersuchungen über die Regeneration des Vegetationspunktes an Angiospermenwurzeln, in Sachs' Arbeiten des bot. Inst. Würzburg. Heft IV.

auch bei längsgespaltenen Wurzeln Heilung statt, indem beide Längshälften zu je einer neuen vollständigen Wurzelspitze werden. Wenn endlich der Querschnitt noch weiter hinter dem Scheitel geführt ist, so entsteht aus der Rinde nur ein Callus, der die Wunde überzieht und in Dauergewebe übergeht, und es tritt überhaupt keine Regeneration ein.

Eine ähnliche Regeneration an verwundeten Vegetationspunkten von Stengeln ist von Sachs[1]) beobachtet worden an einem jungen Köpfchen von Helianthus annuus, dessen breite Achse am Scheitel verletzt worden war. Infolge dessen hatte sie dort aufgehört weiter zu wachsen, aber in einer Zone unterhalb dieser Stelle hatte sich gleichsam ein ringförmiger Vegetationspunkt constituiert, indem hier weiter neue Deckblätter und Blüten angelegt wurden, so daß sie also an dem darüber liegenden Scheitel in der Richtung von oben nach unten entstanden, wobei zugleich die gegenseitige Stellung von Deckblatt und Blüte die entgegengesetzte von der des normalen Teiles des Blütenstandes war (die Deckblätter standen oberhalb ihrer zugehörigen Blüten).

C. Reproduktionen neuer Glieder, nach Verlust von Wurzeln, Stengeln oder Blättern.

Begriff der Reproduktionen.

Die Pflanzen besitzen im allgemeinen eine große Fähigkeit, ganze Glieder, wie Wurzeln, Stengel, Blätter, durch neue zu ersetzen, wenn ihnen solche verloren gegangen sind. Alle diese Neubildungen bezeichnen die Praktiker mit dem Namen Reproduktionen, und es kann auch wissenschaftlich die Bezeichnung beibehalten werden. Nur darf man sich darunter keine eigentlichen Regenerationen vorstellen, wie etwa bei gewissen Amphibien, deren Gliedmaßen nach Verstümmelung sich wieder vervollständigen; etwas damit Vergleichbares wären höchstens die vorher besprochenen Regenerationen von Vegetationspunkten an Stelle verloren gegangener bei Wurzeln und Stengeln. Wenn aber nach stärkerem Verluste von Wurzeln, Zweigen oder Blättern eine Bildung neuer Wurzeln oder Sprossen eintritt, so handelt es sich immer um vollständig neue Glieder, die entweder aus schon vorher vorhandenen Anlagen sich entwickeln, oder deren Anlagen infolge der Verwundung in der Nähe der Wundstelle gebildet werden.

I. Ersatz der Wurzeln.

Adventivwurzeln.

Die meisten Pflanzen erzeugen im Falle des Bedarfes, d. h. besonders bei hochgradigem oder gänzlichem Verluste ihrer Wurzeln, meist leicht neue. Man bezeichnet dieselben als Adventivwurzeln, weil sie an Pflanzenteilen und an Stellen erscheinen, wo sonst keine gebildet worden sein würden, also wie neu hinzugekommene Bildungen. Auch diese entstehen, wie der Regel nach die Wurzeln überhaupt, endogen, d. h. aus einem im Innern liegenden Meristem und durch-

[1]) Lehrb. d. Botanik. 4. Aufl. pag. 174. Fig. 126.

brechen also die oberflächlichen Gewebe. Aus welchen Gewebeschichten sich überhaupt Wurzelmeristeme bilden können, ist eine mehr in die Morphologie gehörige Frage[1]).

Bewurzelung der Stecklinge.

Hierhin gehört zuerst die Bewurzelung der Stecklinge. An allen Pflanzenteilen, die man als Stecklinge benutzt, sind die ersten Organe, welche sich an ihnen bilden, Adventivwurzeln. Dieselben erscheinen einige Zeit, nachdem der Steckling in die Erde oder in Wasser gesetzt worden ist, an dem in dem feuchten Medium sich befindenden Ende, und zwar in mehr oder minder großer Anzahl, oberhalb der Schnittfläche, wo sie aus der Rinde hervorbrechen; denn sie entstehen nicht in dem Callus, mit welchem sich die Schnittfläche bedeckt (S. 68), sondern aus dem Cambium oberhalb jener Stelle. Dabei ist es jedoch, wie wir durch die Versuche Vöchting's[2]) wissen, eine ganz strenge Regel, daß nur das organisch untere Ende eines jeden als Steckling benutzten Sproßstückes der Wurzelbildung fähig ist. Denn auch wenn man abgeschnittene Stengel mit beiden Enden in feuchten Erdboden oder in Wasser setzt, so bringt regelmäßig nur das organisch untere Ende Adventivwurzeln zur Entwicklung. Es ist daher für das Gelingen der Vermehrung durch Stecklinge eine wichtige Bedingung, daß die letzteren aufrecht, d. h. mit dem organisch unteren Ende in den Boden gesteckt werden.

Wurzelersatz alter Pflanzen.

Wenn an bereits im Boden eingewurzelten Pflanzen das Wurzelsystem einen Verlust erleidet, so tritt sowohl bei Holzpflanzen wie bei krautartigen Gewächsen meist leicht eine Reproduktion von Wurzeln ein, welche dann etwas oberhalb der Stelle, wo die Hauptwurzel oder eine Seitenwurzel verloren gegangen ist, hervorkommen. Es ist das überall zu beobachten, mag die Wurzel durch Menschenhand verloren oder durch Tiere abgebissen oder zerfressen oder durch einen Krankheitsprozeß zerstört worden sein. Selbst die unteren Teile der Stengel, die sich in der Nähe des Bodens befinden, und besonders die normal unterirdisch wachsenden Stengelorgane der perennierenden Pflanzen, bei Gramineen die Knoten der am oder im Boden befindlichen unteren Halmglieder reproduziren leicht Adventivwurzeln, wenn das Wurzelsystem der Pflanze beschädigt worden ist.

II. Ersatz der Knospen und Zweige.

Ersatz der Zweige bei Kräutern.

1. Verhalten der krautartigen Pflanzen. Wenn einjährige Pflanzen ihre Stengel verloren haben, jedoch die unteren Teile der letzteren noch erhalten geblieben sind, so schlagen dort die Pflanzen

[1]) Vergl. mein Lehrbuch der Botanik II. Leipzig 1893, pag. 50.
[2]) Über Organbildung im Pflanzenreiche. Bonn I. 1878 u. II. 1884.

oft wieder aus, indem die Anlagen ruhender Knospen, die sich in der Achsel der untersten Blätter befinden und sonst unentwickelt bleiben, in diesem Falle zu Seitensprossen sich entwickeln. Wenn daher die Stengel der Pflanzen durch Abweiden, Abtreten, Abfahren, Abschneiden u. dergl. mehr oder minder verloren gegangen sind, treten die hier angedeuteten Reproduktionen ein. Die damit verbundenen Erscheinungen sind an einigen Pflanzen von Wollny[1]) näher verfolgt worden. Er beobachtete, daß wenn Sonnenblumen in sehr jugendlichem Stadium geköpft wurden, die Nebenachsen sich sehr kräftig ausbildeten, wodurch die Pflanzen ein buschiges Aussehen, aber geringere Höhe bekamen. Die vier Wochen später entgipfelten Pflanzen zeigten eine wesentlich geringere Entwickelung der Nebenachsen, aber oft unter stärkerer Verdickung des Stengels und der Blattstiele. Abermals vier Wochen später geköpfte Pflanzen machten nur noch schwächliche oder gar keine Nebenachsen und daher auch keine Blüten, aber oft knollenförmige Verdickungen in den Blattachseln, die aus Inflorescenzanlagen hervorgegangen waren. Jedenfalls trat bei jeder Entgipfelung die Blütenbildung später ein und die Fruchtbildung war kümmerlich. Noch nachteiliger für die Produktion war die Entgipfelung bei Erbsen und Bohnen. Beim Tabak wirkte das Entgipfeln und Geizen vorteilhaft, eben weil das Wachstum der Blätter dadurch wesentlich gefördert wird.

Wiederholt sich die nämliche Verwundung an den neugetriebenen Sprossen, so kann durch die immer erneute Entwickelung von Knsopen an den unteren Teilen eine Vervielfältigung der Sprossen verschiedenen Grades (Polycladie) zu stande kommen, welche mehr oder minder an die sogleich zu besprechenden Besen und ähnliche Erscheinungen bei den Holzpflanzen erinnert.

Auch wenn perennierende Kräuter ihre oberirdischen Teile verlieren, findet gewöhnlich ein reichlicher Ersatz der Stengel statt. Hier sind es die Knospen des unterirdischen Stockes, welche die Reproduktion übernehmen und sich dann oft in noch größerer Anzahl entwickeln. Daher wird nach dem Abschneiden der oberirdischen Triebe in der Regel die sogenannte Bestockung dieser Pflanzen noch größer. Der Klee, viele perennierende Gräser und andre Pflanzen verhalten sich so, wie man beim Abmähen oder Abweiden dieser Pflanze bestätigt findet.

Ersatz der Zweige bei Holzpflanzen.

Verhalten der Holzflanzen. Bei diesen Gewächsen müssen wir bezüglich der Reproduktionserscheinungen den Verlust der Knospen

[1]) Einfluß des Entgipfelns der Pflanzen 2c. Forschungen auf d. Geb. d. Agrikulturphysik VIII. Heft 2. 1885. pag. 107.

und der ein- und wenigjährigen Zweige von den Verwundungen des älteren Stamm- und Zweigsystems absondern, weil die Reproduktion im ersteren Falle fast immer nur aus normalen Seitenknospen (Achselknospen) erfolgt, also aus solchen, welche bei jeder Pflanzenart eine durch den morphologischen Aufbau festbestimmte Stellung haben, während bei den Verwundungen älterer Teile vorwiegend nur Adventivknospen, also endogen im Cambium ohne bestimmte Zahl und Stellung sich bildende Knospen, die Reproduktion übernehmen.

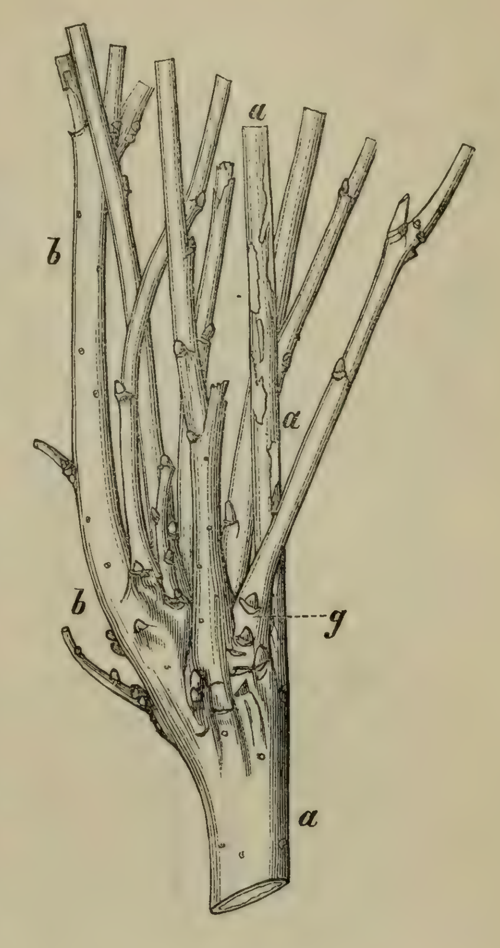


Fig. 17.

Rüster, Bildung von Ersatztrieben aus untern Seitenknospen, nach wiederholtem Verbeißen durch Wild. a a a Hauptsproß. b b Zweig, beide in den obern Teilen abgebissen gleich den Ersatztrieben. Die Bißstellen liegen zum Teil in größerer Höhe, daher in der Figur nicht dargestellt. Die Ersatztriebe sind alle aus den untersten Seitenknospen entwickelt worden, deren noch welche bei g vorhanden sind.

Ersatztriebe an jüngeren Zweigen.

1. Reproduktionen nach Verlust von Knospen oder jüngeren Zweigen. Unter den hier gemeinten Verwundungen sind besonders diejenigen zu verstehen, welche durch den künstlichen Schnitt, durch das Verbeißen des Wildes und der Weidetiere, sowie durch verschiedene Insekten, welche Knospen und dünnere Zweige zerstören, an den Holzpflanzen hervorgebracht werden. Wenn an Bäumen oder Sträuchern solche Verletzungen eintreten, so sind unter der Wundstelle immer irgendwo normale Achselknospen schon vorhanden oder es giebt daselbst Blätter, welche in ihren Achseln nachträglich solche erzeugen oder die sonst unentwickelt bleibenden Anlagen solcher zur vollständigen Ausbildung bringen können. Diese Knospen sind es, welche dann zu treiben beginnen und zum Ersatz des verloren gegangenen Sprosses neue Triebe (Ersatztriebe) machen. Schon

der Umstand, daß es häufig mehr als eine Knospe ist, die unterhalb eines Zweigstumpfes geweckt wird, hat eine Vermehrung der Zweige zur Folge. Selbstverständlich kann in der Gartenkunst durch die Willkür des Schnittes dem entgegengearbeitet werden, wenn der Zweig bis auf eine Knospe zurückgeschnitten wird oder wenn man ihn gerade über einer kräftigen Knospe abschneidet oder einknickt, wodurch die letztere allein zu üppiger Entwickelung angeregt wird. Wenn nun aber an den Ersatztrieben die Verstümmelungen sich wiederholen, wie z. B. beim Heckenschnitt und ganz besonders beim Verbeißen des Wildes und des Viehes, welches gerade die Gewohnheit zu haben scheint, die einmal verbeizten Büsche immer wieder aufzusuchen, so hat das eine Vervielfältigung von Sprossen verschiedenen Grades oder eine Polycladie zur Folge, wie diese Erscheinung im allgemeinen bezeichnet werden kann, deren höchste Grade wohl auch Zweigwucherungen oder Besen genannt werden. Die hierher gehörigen Polycladien sind sämtlich daran zu erkennen, daß immer die Bruchstellen der verloren gegangenen Zweige oder die noch stehen gebliebenen Stumpfe derselben zu sehen sind. Die aus mehrmaliger Wiederholung der Verstümmelung hervorgegangenen zeigen eine ungewöhnlich große Anzahl verschiedenalteriger, von einem Punkte oder von nahe bei einander befindlichen Punkten entspringende Zweige und Zweigstumpfe, die an ihrer Basis immer wieder ausschlagen. Wie nun diese Zweig-

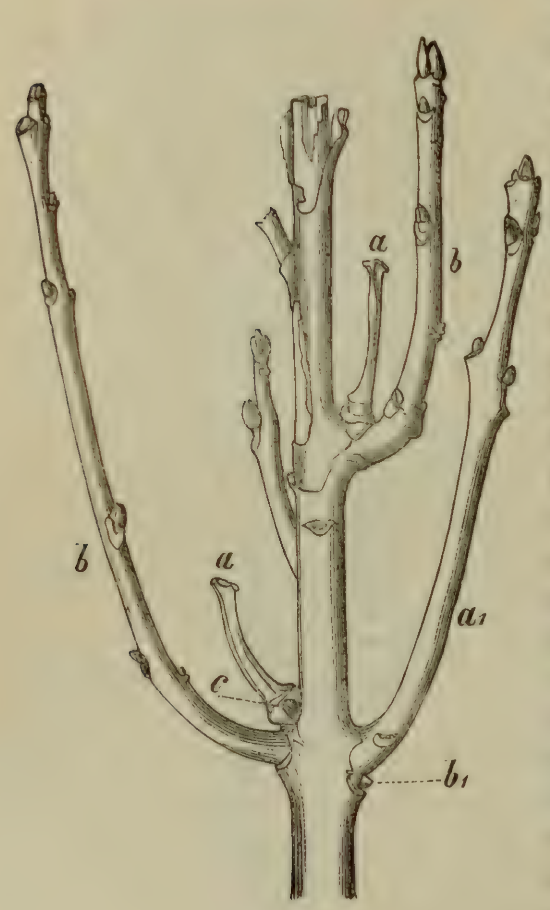


Fig. 18.

Esche, Bildung von Ersatztrieben aus Beiknospen, nach Verbeißen durch Wild, a_1 ein normaler Achselsproß, b_1 dessen normal unentwickelt bleibende Beiknospe. Bei a a die Achselsprosse gleich dem Hauptsproß abgebissen, dafür die Beiknospen derselben b b zu Ersatztrieben entwickelt. Bei c eine Sekundärknospe.

wucherungen entstehen, darüber geben die morphologischen Verhältnisse der Sprosse der verschiedenen Holzpflanzen Aufschluß. Zugleich verdient auch Berücksichtigung, daß die Ersatztriebe selbst bisweilen gewisse morphologische Abnormitäten zeigen. Es sollen im Folgenden die wichtigsten Formen dieser Reproduktionen kurz charakterisiert werden.

a) Nur die normalen Achselknospen der untersten ersten Laubblätter an der Basis des Sprosses werden nach dessen Verstümmelung zu Ersatztrieben entwickelt. Diese Knospen sind bei den meisten Laubhölzern von den übrigen durch auffallend geringere Größe und schwächere Entwickelungsfähigkeit unterschieden, indem sie unter gewöhnlichen Verhältnissen im Knospenzustand verbleiben und nicht zum Austrieb kommen, sogenannte schlafende Knospen. Darum findet man sie unter normalen Verhältnissen meistens auch noch auf der Basis des zwei- und selbst mehrjährigen Triebes, und erst im späteren Alter verschwinden sie. Als Beispiel für diese Reproduktion kann die Rüster dienen. Nach Verbeißen durch das Wild werden hier diese schlafenden Knospen geweckt und zu neuen Trieben entwickelt, wie Fig. 17 zeigt. Übrigens gehören auch die meisten anderen Laubhölzer zu diesem Typus. Nach starkem und wiederholtem Verbeißen können wohl hier überall auch einige der unter d genannten Secundärknospen zur Entwickelung kommen.

b) Die Ersatztriebe werden außer aus Achselknospen auch aus Beiknospen (accessorischen Knospen) oder aus diesen allein gebildet. Solche Knospen kommen neben der eigentlichen größeren Achselknospe in den Blattachseln vor bekanntlich bei Lonicera, wo sie über, bei Fraxinus excelsior &c., wo sie unter den Achselknospen stehen. An der Stellung der Ersatztriebe, die sich hier nach Verbeißen u. dergl. bilden, erkennt man deutlich die eben bezeichnete Herkunft derselben (vergl. Fig. 18).

c) Die Reproduktion geschieht vermittelst der von Henry Secundärknospen, von Schimper Säumaugen genannten kleinen Knospen, welche bei manchen Holzpflanzen normal in der Achsel der untersten Schuppen der Knospen sich bilden und daher an der Basis der letzteren entweder freistehend oder noch von der vorhandenen Knospenschuppe bedeckt sichtbar sind. So befindet sich bei den Weidenarten, sehr deutlich z. B. bei Salix purpurea, rechts und links von der Narbe des Tragblattes eine kleine Secundärknospe unmittelbar hinter den beiden verwachsenen Knospenschuppen als Achselprodukt derselben. Im normalen Zustande bleiben sie unterdrückt, werden aber geweckt, wenn der Zweig, an dem sie stehen, oder auch wenn der Hauptsproß über diesem Zweige verstümmelt wird. Fig. 19 zeigt die

Reproduktion aus diesen Knospen an der auf Wiesen wachsenden Salix repens, welche von der Sense bei der Heuernte verstümmelt worden ist.

d) Knospen, die ihrem morphologischen Charakter nach ebenfalls Secundärknospen genannt werden können, die aber unter normalen Verhältnissen gar nicht vorhanden sind, werden erst infolge der Verstümmelung angelegt und dann zur Triebbildung benutzt. Für den Morphologen bedarf es nicht erst des Hinweises, daß dieser Fall vom vorigen sich durch keine scharfe Grenze trennen läßt, da der Vegetationspunkt einer Achselknospe jedenfalls schon frühzeitig angelegt sein muß; und der Unterschied des vorliegenden Falles würde nur darin bestehen, daß hier diese Vegetationspunkte unter normalen Verhältnissen auf ihrer ersten Anlage stehen bleiben und die Entwickelung zu wirklichen Knospen erst durch die Verwundung bedingt wird. Solche Secundärknospen entwickelt besonders die Fichte nach dem Schnitt und nach Verbeißen. Bekanntlich haben die Fichtensprosse unter der Terminalknospe in den Achseln der obersten Nadeln Achselknospen, welche ungefähr einen Quirl bilden an kräftigen Sprossen, an schwächeren Trieben nur in der Ein- oder Zweizahl vorhanden sind (Fig. 20, B) oder ganz fehlen. Wenn die Knospen oder die aus ihnen hervorgegangenen Triebe verstümmelt sind, so erscheinen Ersatzknospen aus den Achseln der Knospenschuppen, welche die Basis sowohl des Endtriebes wie der Quirltriebe umsäumen. Der aus der Gesammtheit der Knospenschuppen bestehende manschettenförmige Schuppenansatz, über welchem im normalen Zustande nur der Sproß selbst sich erhebt, umfaßt nach Verlust des letzteren mehrere Knospen, die alle entwickelungsfähig sind. So kommt das abnorme Verhältnis zu stande, daß der Hauptsproß einen Quirl von Seitenknospen über dem Schuppenansatze trägt, während der normale Knospenquirl stets unter demselben steht. Wenn im nächsten Jahre die aus den Ersatzknospen entwickelten Triebe wieder verstümmelt werden, so wird aus der Schuppenmanschette mit

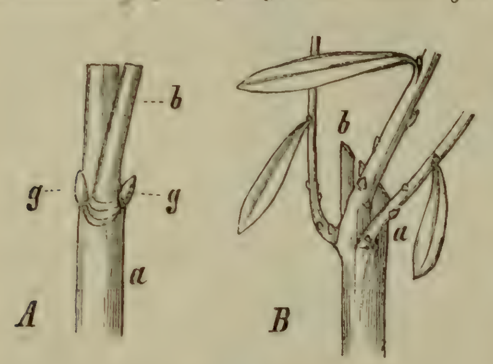


Fig. 19.

Weide, Bildung von Ersatztrieben aus Sekundärknospen. A Stück eines Zweiges von Salix purpurea. a Hauptsproß, b Zweig, gg die Sekundärknospen. B Salix repens, durch die Sense beim Grasmähen abgeschnitten und zwar sowohl der Hauptsproß a, wie der Zweig b. Dafür aus Sekundärknospen Ersatztriebe, deren einer wieder aus einer solchen Knospe getrieben hat.

der jene am Grunde beginnen, wieder eine Anzahl Knospen in derselben Weise gebildet. So kann schließlich der primäre Schuppenansatz ein ganzes Bouquet von Knospen und Zweigstummeln umfassen. Den Anfang zu einer solchen Bildung stellt Fig. 20 A dar. Bei der Entwickelung dieser secundären Knospen ist auch Gelegenheit zur Bildung eigentümlicher Übergänge zwischen Knospenschuppen und Nadeln gegeben. Denn die Knospen treiben zuweilen gleich anfangs ein wenig, indem sie einige ganz kurze, breite, einen oder wenige Millimeter lange grüne Nadeln auf die Knospenschuppen folgen lassen, um jedoch bald wieder mit Knospenschuppenabzuschließen.

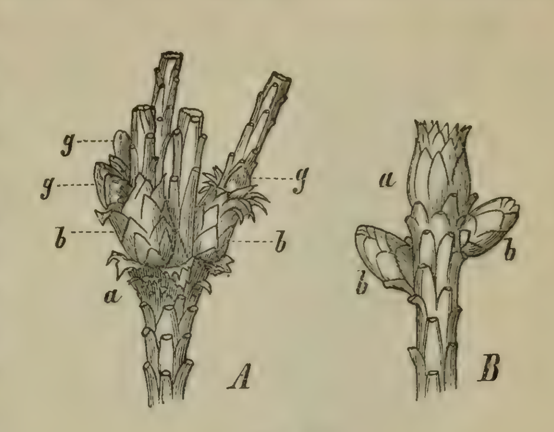


Fig. 20.

Fichte, Bildung von Ersatztrieben aus Sekundärknospen nach Verbeißen durch Wild (A). Der Haupttrieb abgebissen, dafür über dem Schuppenansatze a drei Sekundärknospen b b gebildet und zu Ersatztrieben entwickelt; letztere wieder abgebissen, dafür aus ihrem Schuppenansatz b wieder Sekundärknospen g g g gebildet. B normaler Fichtensproß, welcher unter dem Schuppenansatz der Endknospe a die normalen Seitenknospen b b trägt.

e) In besonderer Weise verhält sich, ihres eigentümlichen morphologischen Aufbaues wegen, die Kiefer. Hier kann jedes der Nadelzweiglein, welche von häutigen Scheiden umhüllt je ein Nadelpaar tragen, eine Knospe zwischen den beiden Nadeln bilden aus dem dort befindlichen Vegetationspunkte des Zweigleins, welcher unter normalen Verhältnissen ruhend bleibt. Diese Knospen nennt man Scheidenknospen (Fig. 21). Ist ein Kiefernsproß verstümmelt, so können aus einem oder mehreren unter der Wunde stehenden Nadelzweiglein Scheidenknospen hervorkommen, welche zu neuen Trieben auszuwachsen vermögen. Wenn z. B. durch Insekten die Nadeln zum Teil abgefressen sind, wird die Bildung der Scheidenknospen, so lange die Zweiglein selbst unverletzt sind, nicht verhindert, im Gegenteil dadurch noch mehr befördert. Auch die Seitenknospen, die sich normal an den Seiten der Kiefernsprossen stellenweis finden und gleich denen, die den Quirl unter der Endknospe bilden, an der Stelle von Nadelzweiglein auftreten, aber gewöhnlich viel schwächer als jene des Quirls sich entwickeln, werden in diesem Falle mit geweckt. Beiderlei Knospen entwickeln sich dann in typischer Form mit Nadelpaaren, und Zweige, an denen sie sich reichlich gebildet haben, sind dann oft dicht buschig

mit ihnen umkleidet. Indessen erreichen die Scheidentriebe, auch wenn sie unverletzt bleiben, kein hohes Alter; sie bleiben immer schwächlich und sterben nach einigen Jahren wieder ab, haben also nur eine provisorische Bedeutung; es sucht eine normale Seitenknospe den Höhentrieb zu übernehmen, denn es kann wahrscheinlich nur durch die normalen Gipfel- und quirlständigen Seitenknospen der Höhenwuchs und eine feste, dauernde Beästung bei der Kiefer hergestellt werden.



Fig. 21.
Kiefer, Bildung von Scheidenknospen infolge der Verstümmelung des Haupttriebes a. Zwischen den beiden meist abgeschnittenen Nadeln jedes Nadelzweigleins eine Knospe; zum Teil sind die Scheidenknospen auch schon zu einem mit mehreren Nadeln besetzten Ersatztriebe ausgewachsen. Nach Ratzeburg.

Einfluß der Jahreszeit.

Hinsichtlich der Zeit, in welcher die hier beschriebenen Ersatztriebe zur Entwickelung kommen, ist Folgendes zu bemerken. Findet die Verletzung im Herbst, Winter oder zeitigen Frühjahr statt, also zu einer Zeit, wo der Zweig mit seinen Knospen vollständige Ausbildung erreicht hat, so fällt die Entfaltung der Ersatzknospen in die regelmäßige frühjährliche Zeit des Knospenausschlags. Wenn aber der diesjährige Trieb schon im Sommer verstümmelt wird, so können seine an der Basis schon vorhandenen oder noch anzulegenden Ersatzknospen auch schon in demselben Sommer, als sogenannter Johannistrieb oder proleptisch, wie dies in der Botanik genannt wird, zum Austreiben kommen.

Abnorme Blattformen ꝛc. an Ersatztrieben.

Für alle hierher gehörigen Polycladien, und daher besonders für die durch sie bedingten abnormen Baum- und Strauchformen, von denen unten näher die Rede ist, ist es charakteristisch, daß die Blätter an den Ersatztrieben meistens mehr oder minder kleiner sind als die normalen, ohne jedoch sonst in der typischen Gestalt wesentliche Abweichungen zu zeigen. Dies ist sowohl bei den Laubhölzern als auch bei den Nadelbäumen der Fall. Unter den letzteren macht sich an den Ersatztrieben meistens eine Kurznadligkeit bemerkbar, so bei der Kiefer und namentlich bei der Fichte, wo die Nadeln in ihrer Kleinheit an diejenigen der Krüppelsträucher an der Baumgrenze der Gebirge erinnern und so dicht an den Zweigen stehen, daß diese wie Bürsten aussehen (Bürstentriebe). Aber diese Verkleinerung der Blätter und Nadeln steht immer mit der Kümmerlichkeit der Ersatztriebe im

Zusammenhange, und diese hängt wieder mit der vermehrten Anzahl, in der diese Triebe gebildet werden, zusammen; im ganzen darf man um so kümmerlichere Ersatztriebe erwarten, in je größerer Zahl sie gebildet werden, indem die Nahrung, die sie erhalten, sich dann auf desto mehr Blätter verteilt. Daher kann auch unter Umständen nach Verstümmelung das Gegenteil eintreten, wenn nämlich eine einzige, kräftige, entwickelungsfähige, normale Knospe oder ein Trieb stehen geblieben ist, der dann die ganze Nahrung an sich zieht, so erreicht derselbe leicht eine geile Entwickelung. Die Blätter eines solchen Triebes werden oft ungewöhnlich groß, oder es treten noch andere teratologische Erscheinungen ein, z. B. bei der Kiefer, wo dann manche Nadelzweiglein drei statt zwei Nadeln tragen. Auch Scheidenknospen kommen dann leicht hinzu; sie sind bei Riesennadeln und bei Dreinadeligkeit der Kiefer nichts seltenes.

Reproduktionen nach Verlust von Stamm oder Ästen durch Adventivknospen

2. Reproduktionen nach Verlust des Baumstammes oder älterer Äste. Durch Menschenhand oder durch elementare Ereignisse können dem Baume stärkere Äste oder auch der ganze Stamm über der Erde oder in gewisser Höhe verloren gehen. Da hierbei in der Regel die Wurzeln nicht gestört werden, so bleibt der verstümmelte Baumkörper am Leben, und es regt sich nach einiger Zeit die Reproduktion in der Bildung zahlreicher Adventivknospen, welche aus der Rinde nahe unterhalb der Wunde oder auch aus dem am Rande derselben bereits eingeleiteten Überwallung (S. 74) hervorbrechen, so daß die Wundfläche oft ringsum mit einer Garnitur zahlreicher Adventivknospen eingefaßt ist, von denen nun später immer eine Anzahl zu neuen Schößlingen auswächst. Diese werden, wenn sie aus den Stöcken abgehauener Baumstämme entstehen, Stockausschläge oder Wurzelausschläge genannt. Durch diese Reproduktionen wird nun das Leben der Pflanze erhalten, denn sie können zu neuen Stämmen, beziehentlich zu einem neuen Beastungssystem sich entwickeln. Es sind jedoch nur die Laubhölzer dieser Reproduktionen fähig. Wenn Koniferen derartige Verwundungen erleiden, so tritt keinerlei Reproduktion ein; die Pflanze geht also ein, sobald die ganze Baumkrone verloren gegangen ist; nur die Lärche macht hiervon eine Ausnahme, indem sie ähnliche Reproduktionen macht wie die Laubhölzer. Die Stockausschläge entwickeln sich entweder in völlig normaler Form, oder sie zeigen gewisse Abweichungen in der Beschaffenheit der Blätter, wie z. B. eine sonst fehlende Behaarung, welche bei den Pappeln, besonders bei der Zitterpappel an den Blättern dieser Ausschläge Regel ist, oder sie bekommen infolge der überreichen Nahrungszufuhr bisweilen wirkliche Mißbildungen, indem sie nicht selten Riesenwuchs

oder Verbänderung zeigen, worüber unten das von diesen Mißbildungen speziell handelnde Kapitel zu vergleichen ist.

III. Ersatz der Blätter.

Ersatz der Blätter.

Auch wenn Blätter allein, ohne die Stengel, verloren gegangen sind, wie es bei so vielen Insektenschäden vorkommt, schafft die Pflanze meist leicht dafür wieder Ersatz, besonders dann, wenn einem Stengel sein ganzer Blattanhang abhanden gekommen ist. Freilich kann sich an der nämlichen Stelle, wo ein schon erwachsenes Blatt gesessen hat, kein neues bilden, ebensowenig wie an einem Blatte ein verloren gegangener Teil wieder nachwachsen kann. Ein Ersatz in diesem strengsten Sinne findet nicht statt; denn neue Blätter können bekanntlich nur aus dem embryonalen Gewebe des Vegetationspunktes der Stengelknospen erzeugt werden. Das einzige, was man an dem Blatte selbst eintreten sah, nachdem man einen Teil desselben weggeschnitten hatte, war, daß ein anderer stehen gebliebener Teil stärkeres Wachstum zeigte; nach Göbel[1]) und Kronfeld[2]) hat bei Vicia Faba und Pisum sativum das Wegschneiden der Laubbattspreiten eine Zuwachssteigerung der Nebenblätter zur Folge; bei vielen andern Pflanzen mit von Natur kleinen Nebenblättern trifft das nicht ein. Wenn also nach Verlust der Blätter Reproduktionen eintreten, so handelt es sich immer um die Bildung neuer blättertragender Sprosse, zu welchen gewisse schon vor der Verwundung vorhandene Knospen auswachsen.

Bei Kräutern.

I. Verhalten der krautartigen Pflanzen. Bei diesen ist die Art der Reproduktion verschieden je nach der Beschaffenheit des Stengels, dem die Blätter verloren gegangen sind. Besitzt derselbe noch eine thätige Endknospe, so entwickelt sich diese einfach weiter und bringt neue Blätter zum Vorschein. So bekommt auch die Rübenpflanze nach dem Abblatten der älteren Blätter direkt aus dem Herz, d. h. aus der dort befindlichen Endknospe neue Blätter. Ist aber keine solche Endknospe vorhanden, sei es weil der Stengel mit einem Blüten- oder Fruchtstande endigt, sei es weil sie mit zerstört worden ist, so übernehmen Achselknospen, welche tiefer am Stengel in den Achseln der Blätter stehen und welche sonst meist unentwickelt zu bleiben pflegen, die Reproduktion; es kommen dort also neue Blättertriebe zum Vorschein, d. h. es geschieht im allgemeinen das gleiche, was auch nach vollständigem Verluste des ganzen Stengels

---

[1]) Botan. Zeitg. 1880, Nr. 45.

[2]) Daselbst 1886, pag. 846.

zu geschehen pflegt; denn häufig sind es dann die unteren Teile des Stengels, welche diese Ersatztriebe machen. So schlägt auch die Rübenpflanze nach Zerstörung ihres Herzens gewöhnlich durch kleine Seitenknospen aus, welche an der Seite des Rübenkörpers sich zeigen. Übrigens kommt es auch sehr auf den Alterszustand der krautartigen Pflanze an, ob sie überhaupt nach dem Verluste der Blätter sich noch zu einer Reproduktion aufrafft. Je näher sie nämlich dem natürlichen Abschlusse ihrer Entwickelung sich befindet zur Zeit, wo der Blattverlust eintritt, desto weniger ist sie dazu geneigt; sie unterläßt dann wohl jegliche Reproduktion und bringt nur die Reifung ihres jeweiligen Produktes rasch zu Ende.

Bei Holzpflanzen

II. Verhalten der Holzpflanzen. Wenn die blättertragenden Triebe der Holzpflanzen zur Zeit, wo die Blätter von ihnen abgefressen worden, noch sehr jung sind, so vertrocknet meist der ganze Trieb und die weiteren Folgen sind dieselben, die nach Zerstörung der ganzen Triebe eintreten, und die schon oben besprochen worden sind. Wenn aber entblätterte Zweige nicht absterben, wie es bei vorgerückterer Frühjahrs- oder Sommerzeit der Fall ist, so sind an ihnen auch die entwickelungsfähigen End- und Achselknospen vorhanden, welche unter normalen Verhältnissen für das nächste Jahr bestimmt sind, und welche das Wiederausschlagen des Baumes ermöglichen. Nach Verlust des Laubes zeigen nun die Holzpflanzen ein doppeltes Verhalten. Entweder beschließt der Baum, wenn ein solches Ereignis eintritt, seine diesjährige Vegetationsperiode, um erst im nächsten Frühlinge wieder auszuschlagen. Oder der Baum belaubt sich schon in demselben Sommer, einige Wochen nach dem Kahlfraße, zum zweiten Male, durch den sogenannten Johannistrieb, d. h. dadurch daß eben jene für das nächste Jahr bestimmten Knospen, welche an den durch den Fraß entblätterten Zweigen sitzen, proleptisch (ein Jahr zu früh) zu belaubten Trieben sich entwickeln, was besonders die in der Nähe der Zweigspitzen gelegenen Knospen thun. Der erstere Fall findet namentlich dann statt, wenn der Blattverlust erst ziemlich spät im Sommer erfolgt ist, der zweite bei frühem Kahlfraße. Doch ist immer die neue Belaubung, mag sie im Fraßjahr oder im Nachjahr eintreten, schwächer als die verloren gegangene, was sich daraus erklärt, daß die Assimilationsthätigkeit der Pflanze eine ganze Zeit lang unterbrochen oder sehr mangelhaft war (s. S. 28).

D. Wundkrankheiten oder Wundfäule.

Wundfäule.

Mit dem vorstehenden Namen können diejenigen Erscheinungen an den Wunden der Pflanzen bezeichnet werden, welche das Gegenteil

der natürlichen Schutzvorkehrungen oder der Heilungsprozesse sind, nämlich Zersetzungserscheinungen, denen die Gewebe von der Wundstelle ausgehend anheimfallen. Wenn nämlich die Wunden nicht binnen einer gewissen Zeit durch die natürlichen Heilungsprozesse verschlossen werden, so stirbt das Gewebe von der Wundfläche aus allmählich ab und geht in Fäulnis über. Dies tritt natürlich am raschesten an solchen Wunden ein, wo saftreiche parenchymatische Gewebe entblößt worden sind; doch ist eben auch gerade die hier erfolgende Bildung von Wundkork, welcher eben das Eintreten und Fortschreiten der Wundfäule nach innen verhindert, meist sehr rasch vollendet (S. 61). Die Wunden holziger Teile sind ja wegen der Bildung von Schutzholz (S. 32 &c.), welches den Atmosphärilien größeren Widerstand leistet, zum Teil auch durch die antiseptisch und konservierend wirkenden Harzbedeckungen (S. 44 &c.) viel mehr gegen Zersetzungserscheinungen geschützt; allein eine sehr lange Reihe von Jahren hindurch vermag auch das Schutzholz den Angriffen zerstörender Agentien nicht zu widerstehen, da es ja, einmal gebildet, als totes Gewebe zu betrachten ist. Und so kommt gerade an Holzpflanzen bei größeren Verwundungen, weil ja die Überwallung ein nur langsam fortschreitender Heilungsprozeß ist, oft Wundfäule zu stande.

Die Faktoren, welche das immer weitere Fortschreiten der Wundfäule bedingen, sind in erster Linie die ungehinderte Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffes und des Niederschlagswassers, demnächst wahrscheinlich auch die in Wasser löslichen Zersetzungsprodukte der bereits abgestorbenen Teile, indem diese sich in den Geweben weiter verbreiten und beim Zusammentreffen mit den lebendigen Zellen dem Leben dieser nachteilig zu sein scheinen. Schon das bloße Fehlen lebender Nachbarzellen dürfte für Zellen, die völlig inneren Geweben angehören, tödlich sein, indem man annehmen darf, daß die natürlichen Wechselwirkungen, in denen sich diese Zellen mit ihren Nachbarn befinden, zu ihren Lebensbedingungen gehören. Sehr oft, besonders bei den Holzpflanzen, kommen auch gewisse saprophytische Pilze hinzu, welchen gerade solche offene Wunden einen willkommenen Ansiedelungspunkt und gedeihliche Nahrung bieten. Größere Feuchtigkeitsverhältnisse begünstigen das Auftreten dieser Pilze in hohem Grade. Sie wirken freilich nicht unmittelbar tödlich auf die noch lebenden Zellen; denn als Saprophyten zehren sie nur von den toten Gewebepartien der Wunden, und man sieht sie nicht in das noch lebende Gewebe übergreifen; aber sie bewirken eine viel raschere Zersetzung der toten Wundpartien und tragen aus diesem Grunde zu dem rascheren Umsichgreifen der Wundfäule bei. Nicht unerwähnt mag übrigens bleiben, daß

die offenen Wunden, besonders bei den Holzpflanzen, auch gewissen parasitischen Pilzen geeignete Angriffspunkte bieten, indem manche dieser Pilze gerade von den Wunden aus leicht in die lebenden Partien der Bäume eindringen, weshalb die spezifischen Krankheiten, die dieselben verursachen, die aber erst unten bei den parasitären Krankheiten zu besprechen sind, besonders oft von den Wunden ihren Ausgang nehmen. Selbstverständlich wird durch die Vorgänge der Wundfäule die natürliche Heilung vereitelt, weil dabei diejenigen Gewebe, von denen die letztere ausgehen müßte, eben auch mit zerstört werden.

Der Verlauf der Wundfäule hängt, wie aus dem Gesagten erhellt, von den äußeren Verhältnissen ab. In sehr feuchtigkeitsreicher Luft, in welcher die Wundfläche statt zu trocknen sich feucht erhält, werden die äußeren abgestorbenen Zellen der Wunde durch die Feuchtigkeit in Fäulnis übergeführt, welche unter Fortdauer dieser Verhältnisse weiter begünstigt wird und Fortschritte macht. In der feuchten Luft der Glashäuser ist daher Wundfäule eine gewöhnliche Erscheinung, während wenn dieselben Pflanzen im Freien stehen, ihre Wunden weit geringere Zersetzungserscheinungen erleiden oder normal verheilen. Die starke Wundfäule, welche sich an den mit dem feuchten Erdboden in Verbindung stehenden Pflanzenteilen, wie Wurzeln, Stöcken und unteren Stammteilen der Bäume zeigt, die Ausbreitung der Zersetzungserscheinungen vorzugsweise von horizontalen Schnittflächen der Stämme und Äste aus, auf denen das Wasser sich sammelt, das Ausfaulen hohler Bäume von innen her, endlich die auffallende Häufigkeit von Wundfäule an Bäumen geschlossener, feuchter Waldbestände, vorzugsweise in den Auegegenden, gegenüber freien luftigen Standorten, sind lauter Thatsachen, welche das eben Gesagte in helles Licht stellen.

Selbstverständlich können die nämlichen Zersetzungserscheinungen auch von jeder andern Stelle des Pflanzenkörpers ausgehen, wo nicht durch eine Wunde, sondern aus einer andern Ursache abgestorbene Teile oder Gewebe der Pflanzen vorhanden sind, die der Fäulnis anheimfallen. Man darf daher, wo solche Erscheinungen auftreten, sie nicht ohne weiteres als Folgen von Verwundungen erklären; dazu bedürfte es immer des Nachweises einer wirklich vorhanden gewesenen Wunde. Es geht daraus aber auch hervor, daß die Wundkrankheiten keine spezifischen Krankheiten, sondern nur Folgeerscheinungen sind, die auch nach verschiedenen anderen Einwirkungen sich einstellen können.

Zersetzungserscheinungen nicht holziger Teile.

I. Zersetzungserscheinungen der Wunden nicht holziger Pflanzenteile. Die Wunden dünner, saftarmer Blätter zeigen, wenn sie nicht durch Callus verheilen, in trockenerer Luft keine eigentlichen Fäulniserscheinungen, sondern nur ein allmählich weiter um sich greifendes

einfaches Dürrwerden der Blattsubstanz unter Braunfärbung. Eigentliche Wundfäule tritt aber nach Verletzung leicht ein an den voluminöseren und saftreicheren Pflanzenteilen, wie den dickeren Stengeln, den fleischigen Wurzeln und Knollen, den Zwiebeln und besonders den Succulenten, zumal, wenn sie einigermaßen größerer Feuchtigkeit ausgesetzt sind. Die letztere bringt leicht Fäulnis in den abgestorbenen Zellen der Wundfläche hervor, und die Lösung von Zersetzungsprodukten, als mehr oder minder braune, jauchige Substanz, verbreitet sich im Gewebe weiter und wirkt auf die lebendigen Zellen tödlich, worauf diese unter dem Einfluß des Sauerstoffs in die gleiche Fäulnis übergehen, so daß eben keine Bildung von Wundkork zu stande kommen kann. So kann bei Rüben, Rettigen, Kartoffeln u. dergl. nach starker Verletzung, besonders in feuchtem Boden, das Gewebe in der Umgebung der Wundstelle in eine weiche, breiige, faule Masse sich umwandeln. In der feuchten Luft der Glashäuser, wo zugleich eine gewisse höhere Temperatur den Prozeß befördert, gehen die meisten Wunden, die hier die Pflanzen durch Stoß, Quetschung ꝛc. oft genug erleiden, in mehr oder minder starke Fäulnis über, besonders die der ohnedies saftigen Succulenten. Diese bekommen dadurch rings um die Wunden faule Stellen, die mißfarbig sind, sich weich anfühlen und beim Druck eine bräunliche oder trübe Jauche austreten lassen. Die Wundfäule verbreitet sich in einem solchen Teile immer weiter. Sie dringt z. B. an den mehrere Centimeter dicken Blättern der Agave mexicana, von der einen Seite eines Blattes bald durch die ganze Dicke desselben hindurch, so daß mit der verwundeten und faulen Stelle der einen Seite ein Faulfleck auf der entgegengesetzten korrespondiert, und der Durchschnitt durch eine solche läßt erkennen, daß die Bräunung und jauchige Zersetzung des Gewebes durch den ganzen Querschnitt des Blattes hindurchgeht. In derartigen Fällen ist immer der Ausgang der, daß man endlich solche Blätter ganz wegschneiden muß. Wie sehr an einem solchen Verlaufe die große Feuchtigkeit der Glashäuser Schuld ist, geht daraus hervor, daß z. B. Agave mexicana wenn sie im Sommer im Freien steht, selbst große Wunden leicht und gut durch Wundkork heilt.

Schorf oder Grind der Kartoffeln.

Als eine besondere Form von Wundfäule muß auch derjenige Zustand der Kartoffelknollen betrachtet werden, welcher unter den Namen Schorf, Grind, Räude oder Krätze bekannt ist. Nach Schacht[1]) nimmt diese Krankheit ihren Anfang von den Lenticellen des Kartoffelknollen, die an und für sich eine normale und allgemein

[1]) Bericht ꝛc. über die Kartoffelpflanze und deren Krankheiten. Berlin 1855, pag. 24.

vorkommende Bildung sind: kleine, unmittelbar unter der Schale liegende Pünktchen, Wucherungen von Kork, welche aus weiteren, mehr isodiametrischen, nicht wie die Kartoffelschale aus tafelförmig abgeplatteten Korkzellen bestehen. In feuchter Umgebung wachsen die Lenticellen oft als schneeweiße Wärzchen aus der Schale hervor, was auch an vielen andern Pflanzen, wenn die Teile in Wasser oder sonst sehr feucht stehen, eine häufige und an sich nicht pathologische Erscheinung ist[1]). Aber an diesen Stellen ist nach Schacht das darunter liegende Gewebe schlechter als durch die gesunde Schale gegen eindringendes Wasser geschützt, und die Folge sei, daß dieses Gewebe einen Zersetzungsprozeß erleidet, durch den an diesen Stellen die Korkbildung endlich aufgehoben und das Gewebe in eine schwarzbraune modrige Masse verwandelt werde. Große Nässe scheint daher nach Schacht's Ausspruch sowohl die erste Veranlassung zur Bildung der Korkwarzen zu sein, als auch den weiteren Verlauf des Übels zu befördern. Ich halte das für richtig; ich habe die ersten Anfänge ebenfalls als kleine Korkwucherungen in der Schale gefunden und glaube, daß der Schorf daraus auf folgende Weise sich entwickelt. Über den Korkwucherungen sah ich sehr bald die Schale zunächst nur in einem oder in wenigen sehr feinen, strahlig gerichteten Rissen geborsten. Man muß das als die Folge eines leichteren und reichlicheren Eindringens von Wasser durch die Korkwucherung betrachten; das unterliegende Gewebe nimmt durch das imbibierte Wasser ein stärkeres Ausdehnungsstreben an, und die entstehende Gewebespannung bedingt eben jenes zunächst ganz lokale und geringfügige Aufspringen. Denn auch durch gröbere Wunden wird wegen des eindringenden Wassers und den dadurch hervorgerufenen Gewebespannungen oft ein Aufspringen derartiger Pflanzenteile bewirkt. Was nun eigentlich zur Bildung des Schorfes führt, ist der Umstand, daß unter diesen Stellen keine genügende Wundkorkbildung aufkommt, so daß die Zersetzungserscheinungen fortschreiten können: diese Stellen werden schwarzbraun, modrig; in den Zellen derselben verschwindet das Stärkemehl, dafür liegen gelb- oder braungefärbte Ballen desorganisierter Substanz, die nach Schacht oft von Pilzfäden durchwuchert sind, in den Zellen. Der Knollen bedeckt sich also mit solchen faulen, grindartig rauhen Stellen, die man Schorf nennt, in mehr oder minder großer Anzahl und von verschieden großem Umfange und kann dadurch endlich sehr unansehnlich und verdorben werden, womit selbstverständlich auch eine

[1]) Schacht nennt diese Korkwarzen Pocken, ein Wort, mit dem wir jedoch gegenwärtig eine bestimmte andre, und zwar durch parasitische Pilze verursachte Krankheit der Kartoffelknollen bezeichnen.

entsprechende Verminderung des Stärkegehaltes verbunden ist. Zwischen dem Aufspringen mit normaler Heilung durch Kork und der hier beschriebenen Zersetzungserscheinung besteht denn auch keine scharfe Grenze. Es kommen vielfach Schorfstellen vor, wo Korkheilung und Zersetzung mit einander kämpfen: man sieht oft am Rande des Schorfes einen Wall von jungem, mit gesundem Kork überzogenem Gewebe oder auf der Fläche des Schorfes derartige kleine Zapfen oder Buckel, die aber auch früher oder später mit in die Zersetzung hineingezogen werden. Die grindartige Rauhigkeit des Schorfes rührt hauptsächlich von diesem Umstande her.

Thatsache ist, daß auf Böden, welche gemergelt worden sind, der Schorf besonders stark sich zeigt. Die Erklärung dafür fehlt noch.

Daß manche Autoren auch pilzliche Parasiten als Veranlasser von Schorfbildungen an den Kartoffeln angeben, wird bei den parasitischen Pilzen erwähnt werden.

Zersetzungserscheinungen des Holzes.

II. Zersetzungserscheinungen des Holzes. Bei den Holzpflanzen treten infolge von Verwundungen Zersetzungserscheinungen des Holzes auf, besonders an denjenigen größeren Wunden, die durch den natürlichen Heilungsprozeß nicht schnell genug die Wundfläche vernarben können, also vornehmlich an Aststumpfen, an Schnittflächen der Äste, an den Schälwunden u. dergl. Als allgemeine Bezeichnung für den vollständig abgestorbenen und der Zersetzung anheimgefallenen Zustand der holzigen Teile bei den Bäumen gilt seit langer Zeit der Ausdruck Brand oder Nekrose, wegen gewisser Ähnlichkeiten mit dem gleichnamigen Zustande tierischer Gewebsteile. Zu einer wissenschaftlichen Bezeichnung möchte sich derselbe weniger empfehlen, nicht bloß wegen der Unbestimmtheit, mit der er hier angewendet wird[1]), sondern vorzüglich weil er schon zur Bezeichnung einer hiervon sehr verschiedenen Krankheit des Getreides und andrer krautartiger Pflanzen dient. Vielmehr können wir auch für diese Zersetzungserscheinungen in allen ihren verschiedenen Formen den allgemeinen Namen Wundfäule anwenden, zumal da eben für den Zustand, in welchen dadurch das Holz übergeht, der Ausdruck faules Holz allgemein gebräuchlich ist.

[1]) Der Name Brand oder Nekrose wird von Meyen (Pflanzenpathologie pag. 304) in dem obigen allgemeinen Sinne gebraucht. Bei den Obstzüchtern hat das Wort wohl meist auch diese Bedeutung, so daß es also auch mit den unten zu erwähnenden Krebs bezeichnet. Göthe (Mitteilungen über den Krebs der Äpfelbäume. Leipzig 1877) nennt Brand die offenen Krebsstellen mit freiliegendem Holzkörper, Sorauer (vergl. Just, Bot. Jahresb. für 1877, pag. 856) dagegen das vom eigentlichen Krebs verschiedene, nach Frostbeschädigung in größerer Ausdehnung am Stamme eintretende Absterben und Vertrocknen der Rinde.

Es wurde schon oben (S. 33) hervorgehoben, daß R. Hartig[1]) mit den ersten Stadien der Zersetzungserscheinungen des Holzes einen Prozeß verwechselt hat, dessen Natur von ihm ganz verkannt worden ist, indem er das, was ich später als Schutzholz bezeichnete, schon für das erste Stadium der Wundfäule hielt, während es das Gegenteil davon, nämlich ein natürliches Schutzmittel ist, um dem Eintritt der Wundfäule möglichst lange vorzubeugen. Von wundfaulem Holze können wir vielleicht erst dann reden, wenn Splintholz oder Schutz- oder Kernholz (dem wir ja oben auch den Charakter von Schutzholz zugesprochen haben) anfangen ihre natürliche Härte und Konsistenz zu verlieren. Das wird besonders durch reichliche Feuchtigkeit befördert; daher sehen wir Wundfäule hauptsächlich von Wurzelwunden ausgehen und überhaupt von allen Wunden, die mit dem Erdboden in Berührung stehen, desgleichen an solchen Astwunden, auf denen Regen- und Schneewasser sich sammeln, auch im Innern der Baumstämme. Das Holz nimmt dabei oft eine tief schwarzbraune Färbung an und jedenfalls verliert es an Konsistenz immer mehr, indem es allmählich mürber und zerreiblich wird. Übrigens müssen folgende verschiedene Arten von Wundfäule des Holzes unterschieden werden, deren Eintritt je nach der Verschiedenheit äußerer Umstände sich richtet.

Rotfäule. Alle Zersetzungserscheinungen, bei denen das Holz eine rötliche, bräunliche oder schwärzliche Farbe annimmt, werden mit dem Namen Rotfäule oder nasse Fäule belegt. Dieselbe Sache bezeichnen auch die Ausdrücke Wurzelfäule, Stockfäule, Astfäule, Kernfäule oder Stammfäule und Splintfäule, indem sie nur den Ort des Auftretens dieser Zersetzung andeuten. Beschränkter Luftzutritt und reichlichere Feuchtigkeit sind die Hauptbedingungen für diese Art der Wundfäule.

Weißfäule. Weißfäule, Trockenfäule oder Vermoderung nennt man den Prozeß, wenn das Holz dabei hell, nämlich blaßbräunlich oder weiß und völlig zerreiblich wird; Bedingung dieser Zersetzungsform ist ungehinderter Zutritt von Luft und geringe Feuchtigkeit, daher sie vorzüglich an offenen Holzwunden sich zeigt. Sie kommt vorzüglich bei Laubhölzern vor, z. B. häufig an Linden, Weiden, Pappeln 2c., wo jedoch auch überall bei größerer Feuchtigkeit und geringerem Luftzutritte Rotfäule eintritt.

Grünfäule. Die Grünfäule ist die am seltensten vorkommende Zersetzungsart, die sich bisweilen an Birken-, Buchen- und Eichenholz zeigt, welches lange Zeit am Boden gestanden hat, besonders an alten faulen Stöcken, und durch intensiv spangrüne Farbe ausgezeichnet ist. Der

---

[1]) Zersetzungserscheinungen des Holzes, Berlin 1878.

Farbstoff haftet in den Zellwandungen des Holzes und ist auch den Mycelfäden und den Fruchtkörpern des dabei auftretenden Pilzes Peziza aeruginosa eigen. Die grüne Farbe durchdringt das Holz nicht gleichmäßig; stellenweis ist dieses farblos, dem weißfaulen Holze gleich, hier tiefer, dort blasser grün gefärbt. Die Erscheinung ist wissenschaftlich noch nicht genügend erforscht.

Humifizierung des Holzes.

Faules Holz, besonders rotfaules, zerbröckelt und zerfällt endlich von selbst in eine schwarzbraune, erdige Masse, sogenannte Baumerde oder Moder. Dieser Prozeß besteht in einer vollständigen Humifizierung des Holzes, indem die organische Substanz der Zellmembranen in Humuskörper sich umwandelt.

Chemische Veränderungen.

Die chemische Veränderung, welche das rotfaule Holz erleidet, ist aus den chemischen Analysen desselben zu erkennen. Während gesundes Eichenkernholz, auf aschefreie Substanz berechnet, zusammengesetzt ist aus

49,24 C. 5,47 H. 45,29 O.,

ergab die Analyse von hellbraunem faulen Eichenholze

53,6 C. 5,2 H. 41,2 O.,

von dunkelbraunem faulen Eichenholze

56,2 C. 4,9 H. 38,9 O.,

und von brauner Baumerde aus einem hohlen Baume 58,0 C. 4,9 H. 37,1 O.

Es erhellt daraus, daß bei der Rotfäule kohlenstoffreichere Substanzen, Humuskörper, zurückbleiben. Der ganze Vorgang ist ein Oxydationsprozeß, bei welchem Kohlensäure und Wasser auf Kosten der organischen Substanz des Holzes gebildet werden, letztere also sich absolut vermindert. Dieses geht aus der Vergleichung des Aschegehaltes gesunden und faulen Holzes hervor. Gesundes Fichtenholz enthält

48,63 C. 5,80 H. 45,18 O. 0,39 Asche.

Stark zersetztes Fichtenholz dagegen

48,14 C. 4,96 H. 40,24 O. 6,66 Asche[1]).

Dieser große Aschegehalt erklärt sich eben daraus, daß von dem Zersetzungsprozesse nur die organische Substanz, nicht die Aschebestandteile betroffen werden. — Bei der Weißfäule ist der chemische Vorgang ein anderer. Weißfaules Eichenholz ergab an organischer Substanz

48,2 C. 6,3 H. 45,5 O.

Weißfaules Holz ist also ärmer an Kohlenstoff und etwas reicher an Sauerstoff als gewöhnliches Holz. Die Oxydation erzeugt hier also

---

[1]) Nach den Angaben R. Hartig's l. c.

außer Kohlensäure und Wasser noch andere Oxydationsprodukte. Bei unsrer mangelhaften Kenntnis der chemischen Verbindungen, die im gewöhnlichen Holz vorhanden sind, vermögen wir gegenwärtig nichts darüber zu sagen, in welcher Weise bei diesen Veränderungen die einzelnen chemischen Bestandteile des Holzes sich verhalten.

Beförderung der Wundfäule des Holzes durch Insekten.

Der Zersetzung des Holzes kann durch die holzbewohnenden Insekten Vorschub geleistet werden, namentlich durch Holzwespen und Holzkäfer, welche in totem Holze Gänge in verschiedenen Richtungen fressen, wodurch nicht nur eine mechanische Zerstörung bewirkt, sondern auch das Eindringen von Wasser und Luft in die Holzmasse bedeutend erleichtert wird.

Beförderung der Wundfäule des Holzes durch Pilze.

Außerdem beteiligen sich an der eigentlichen Zersetzung oder Wundfäule des Holzes außer dem Sauerstoff sehr häufig auch gewisse saprophyte Pilze, welche sich in dem faulen Holze ansiedeln. Auch sie werden durch reichliche Feuchtigkeit begünstigt und befördern den Fortgang der Zersetzung in hohem Grade. Diese Begleiter der Fäule des Holzes dürfen nicht verwechselt werden mit den bisweilen in Holzpflanzen lebenden parasitischen Pilzen, von denen sie sich jedenfalls dadurch unterscheiden, daß sie nicht in das lebende, gesunde Holz hineinwachsen, sondern daß dasselbe schon tot sein muß, wenn sie sich in ihm ansiedeln sollen, und daß sie nur die Zersetzung des vorher abgestorbenen Holzes mit vermitteln.

Die wichtigsten saprophyten Pilze der Holzpflanzen.

Die Zahl der an abgestorbenen holzigen Pflanzenteilen sich ansiedelnden saprophyten Pilze ist eine ungemein große; sie alle aufzählen, hieße eine Mykologie schreiben. Wir müssen daher hier darauf verzichten, um so mehr, weil ihr Erscheinen eigentlich schon das Ende der Krankheit, den Tod bedeutet, und die Pathologie also eigentlich nichts mehr mit ihnen zu thun hat. Da sie aber den abgestorbenen und noch an der lebenden Pflanze haftenden Teilen vielfach ein eigentümliches Aussehen verleihen, so mögen hier wenigstens die gewöhnlichen dieser Pilzformen und ihr Verhalten kurz angedeutet werden.

Gemeinsam ist bei diesen Pilzen, daß ihr Mycelium in dem Zellgewebe der der Wundfäule anheimgefallenen Teile, also in der Rinde und besonders im Holze verbreitet ist. Zuerst hat Th. Hartig[1]) im faulen Holze Pilze gefunden, die er Nachtfasern (Nyctomyces) nannte, und denen er eine Beteiligung an der Verbreitung der Fäulnis zuschrieb. Durch Schacht[2]), ferner besonders durch Willkomm[3]), der gewisse sogleich zu nennende Pilzformen für echte Parasiten und für die wahre Ursache der Rotfäule erklärte, sowie durch R. Hartig[4]), der jene als bloße Saprophyten erkannte, wurde

[1]) Verwandlung der polycotyledonischen Pflanzenzelle in Pilz- und Schwammgebilde 2c. Berlin 1833.

[2]) Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Botanik III.

[3]) Die mikroskopischen Feinde des Waldes I. Dresden 1866.

[4]) Zersetzungserscheinungen des Holzes. Berlin 1878.

das Auftreten dieser Pilzmycelien im faulen Holze genauer beobachtet. Es sind verzweigte Pilzfäden, welche sowohl zwischen den Holzzellen, als auch innerhalb der Membranen derselben und selbst in das Innere der Zellen hinein wachsen. In den Membranen bohren sie Gänge, sowohl in der Richtung derselben, also den Schichten der Membran folgend, als auch quer durch dieselben hindurch, aus einer Zelle in die andere wachsend. Die Fruchtträger, an denen die Sporen gebildet werden, entwickeln diese Pilze an den freien Flächen ihres Substrates, wo sie an die Luft gelangen, also vorwiegend an der Oberfläche der Zweige und Stämme, oder an der Außenfläche des Holzkörpers, wenn dieser frei liegt, oder wenn die darüberliegende abgestorbene Rinde sich von ihm abgehoben hat, oder auch an der Innenseite des Holzes hohler Stämme, in Spalten des Holzkörpers u. dergl.

Nach der Verschiedenheit der Teile des Baumes sind auch die Pilze, welche die Wundfäule begleiten, verschieden. Die dünneren Zweige haben fast immer andre Pilze, als die stärkeren Äste und der Stamm derselben Baumspecies; wieder andre Pilze zeigen sich an den tieferen, mit dem Erdboden in Berührung stehenden Wunden, und auch der Holzkörper hat sowohl in seinem Innern, als an seinen entblößten Oberflächen gewisse eigentümliche Saprophyten. Dazu kommt ferner, daß besonders die an den dünneren Zweigen auftretenden Pilze fast bei jeder Holzpflanze von andrer Art sind; fast jede hat daselbst ihre eigentümlichen Pilzformen.

An den dünneren ein- bis mehrjährigen Zweigen oder Zweigstummeln, wenn dieselben durch irgend eine Beschädigung, besonders durch Abschneiden u. dergl. oder durch unzeitige Entlaubung getötet worden sind, erscheinen im Herbst und Winter nach dem Absterben, und zwar während dieselben noch auf der Pflanze stehen, gewisse Scheiben- und Kernpilze. Bei der Eiche ist das regelmäßig Colpoma quercinum *Wallr.*, das mit seinen strichförmigen, geraden oder gekrümmten dunkeln Apothecien durch eine lippenförmige Spalte der Rinde hervorbricht, gewöhnlich in Begleitung von Spermogonien. Bei Eschen sind es die elliptischen schwarzen Apothecien des Hysterium Fraxini *Pers.* Bei vielen andern Bäumen spielen diese Rolle verschiedene Kernpilze aus der Verwandtschaft der Valseen, deren Perithecien als kleine, dunkle, durch die Rinde hervorbrechende Pusteln oft über den ganzen dürren Zweig zerstreut stehen, z. B. an Weiden Valsa salicina *Fr.*, an Ulmen Valsa stellulata *Fr.*, an Linden Hercospora Tiliae *Fr.*, an Erlen Cryptospora suffusa *Tul.*, an Weißbuchen Diaporthe Carpini *Fuckel.*, an Rotbuchen Quaternaria Persoonii *Tul.* 2c. Oder es treten auf den genannten Teilen statt der Perithecien die Spermogonien solcher Kernpilze auf, Formen von Cytispora und Naemaspora, ebenfalls über den größten Teil des toten Zweiges verbreitet, in Form kleinerer aus der Rinde brechender Pusteln, welche bei Feuchtigkeit ihre Spermatien in hellen Ranken ausstoßen. Oder es finden sich nur die Pyknidenfrüchte solcher Pilze als schwarze, in der Rinde nistende und hervorbrechende kleine Pusten, besonders Diplodia-Formen. Oder endlich gewisse Formen des conidientragenden Stroma, welche als kleine, schwarze, abfärbende Pusteln in Menge aus der Rinde hervortreten, z. B. sehr häufig an dünnen Lindenzweigen Exosporium Tiliae *Link*, an Weiden Trimmatostroma salicis *Corda*, an Birken Coryneum disciforme *Schm & Kze.* etc. etc.

An stärkeren Zweigen der Eiche und ebenso auch an abgestorbenen Stämmchen derselben wächst Colpoma quercinum nicht mehr, dafür bricht oft Diatrypella quercina *Nitschke* oder Diatrype disciformis *Fr.* mit ihren runden, erhabenen Polstern durch die Rinde. Auf noch stärkeren Ästen der Bäume und deren Stämmen erscheinen dagegen vorwiegend große Schwämme, verschiedene Arten Telephora und Löcherpilze (Polyporus) deren Fruchtkörper außen an den Ästen und Stämmen sitzen und gewöhnlich in mehrjähriger Dauer sich allmählich vergrößern. Sehr verbreitet sind auch an noch berindeten und stehenden toten Holzteilen die Formen von Nectria, besonders in dem Zustande des Conidienstroma, welches die frühere Gattung Tubercularia bildete: zahlreiche hochrote, stecknadelkopfgroße und größere erhabene Polster. Diese kommen an allen Teilen, von den dünnsten Zweigen bis zu starken Stämmen vor.

Wunden, die mit dem Erdboden in Berührung stehen, also besonders die am Fuß der Baumstämme befindlichen Wunden und vorzüglich die abgehackten Stöcke haben wieder andre Pilze, besonders größere Schwämme aus der Abteilung der Hymenomyceten, zumal Agaricus-Arten, unter diesen auch noch den Agaricus melleus, welcher schon am lebendigen Holze als Parasit sich ansiedelt. Das Mycelium derselben ist im faulen Holze verbreitet; zwischen Holz und Rinde entwickelt sich dasselbe oft zu Rhizomorphen (Rhizomorpha subcorticalis *Pers.*), die als wurzelartige runde oder plattgedrückte und dann oft bis mehrere Centimeter breite Stränge mit rechtwinklig abgehenden Zweigen und mit dunkelbrauner glatter Rinde und weißem Mark zum Vorschein kommen, wenn man die Baumrinde ablöst. Auch gewisse Kernpilze sind für diese Orte charakteristisch: besonders Xylaria-Arten mit ihren bis fingerlangen, stiel- oder strauchförmigen, schwarzen, oft weiß bestäubten Fruchtkörpern, auch wohl Eutypa-Arten, deren schwarze dünne Krusten dem Holz fast aufgewachsen sind in oft weiter Erstreckung. Auf den grünfaulen Buchenstöcken wächst nicht selten der ebenfalls grüne Buchenpilz Peziza aeruginosa. Das Mycelium auch aller dieser Pilze durchwuchert das faule Holz und ist besonders die Veranlassung der feinen schwarzen Linien, welche oft das weißfaule Holz in unregelmäßig gebogenem Verlaufe durchziehen. Diese Linien stellen die Rhizomorpha intestina DC dar. An diesen Punkten ist das im Holze wuchernde Mycelium sehr stark entwickelt, seine Fäden sind dicht in einander verflochten zu einer zusammenhängenden parenchymähnlichen Gewebemasse, welche gleichmäßig die Zellhöhlen wie die Membranen der Holzzellen erfüllt, die dadurch fast unkenntlich werden; in diesen Partien färben sich an gewissen Stellen die Fäden braun, und dadurch wird die schwarze Linie hervorgebracht.

Endlich haben auch die nackten Holzkörperwunden ihre eigentümlichen saprophyten Pilzformen. An frischen Wundflächen bedeckt sich das entblößte Holz oft bald mit den schwarzgrünen Räschen von Cladosporium, d. i. Conidienträger von Pleospora-Arten. An älter gewordenen Holzwunden, sowie an großen nicht überwallten Holzwunden im Innern hohler Bäume erscheinen gewöhnlich andere Formen: schwarze, rußartige Überzüge, ebenfalls conidienbildende Entwickelungszustände von Pilzen, besonders Formen von Helminthosporium, Helicosporium, Nematogonium etc., oder auch rauhkörnige, schwarze Überzüge, welche auf dem Holzkörper entstehen, sowohl wenn derselbe schon entblößt ist, als auch unter der Rinde, wenn diese ihn noch bedeckt ohne organisch mit ihm zusammenzuhängen.

Sie bestehen aus zahllosen, dicht beisammenwachsenden Perithecien einfacher Pyrenomyceten; sehr häufig sind dies Teichospora obducens *Fuckel,* Melanomma pulvis pyrius *Nitschke,* Arten von Ceratostoma u. a. Auch Hypoxylon-Arten bedecken oft mit ihren rötlich-schwarzen, polsterförmigen, ausgebreiteten Krusten die Hiebfläche von Stämmen oder Ästen und andere bloßliegende Holzteile. Für alle diese Pilze ist ein mäßiger Feuchtigkeitsgrad des faulen Holzes Bedingung. Wo das letztere größerer Feuchtigkeit ausgesetzt ist, die eine raschere Zersetzung bewirkt, erscheinen mit Vorliebe wieder andre Pilze, besonders helle, weiße, gelbe, grünliche oder rötliche, zarte, staubartige Überzüge, die verschiedene Conidienzustände, Formen der alten Gattungen Torula, Sporotrichum etc. darstellen. Auch Mycomyceten lieben solches Holz; sie erscheinen an der Oberfläche desselben mit ihren lebhaft gefärbten, weißen, gelben oder roten schaumigen Plasmodien, die sich bald in die zierlichen, herdenweis wachsenden Sporangien umwandeln.

Auch in dem mehr noch innerhalb der Stämme verborgenen rotfaulen Holze sind immer saprophyte Pilze zu finden. Es sind dies aber nur Myceliumformen, von denen nicht ohne weiteres zu sagen ist, zu welchen Fruchtformen sie sich unter geeigneten Umständen entwickeln. Gewöhnlich finden sich im rotfaulen Holze mehrere Formen beisammen. Es sind dies hauptsächlich die von Willkomm (l. c.) beschriebenen Pilze, und zwar erstens eine Form, welche Xenodochus ligniperda *Willk.* genannt worden ist. Die im Holze wuchernden, zum Teil braun gefärbten Myceliumhyphen bilden, bald an den Enden, bald in ihrer Kontinuität kettenförmig an einander gereihte, dunkelbraune, kugelige, sporenartige Zellen, die Willkomm für Sporangienketten hielt, nach dem gegenwärtigen Standpunkte aber richtiger Chlamydosporen oder Gemmen (Brutzellen) des Myceliums zu nennen sein dürften. Eigentliche Conidien scheint R. Hartig[1]) gesehen zu haben: auf pfriemenförmigen Hyphenästen, die fast immer nahe der Oberfläche des Holzes sich zeigten und vielleicht aus jenem Mycelium entsprangen, wurden kleine farblose Sporen abgeschnürt; doch genügt die Beschreibung nicht, um die Pilzform zu bestimmen. Außerdem findet sich im rotfaulen Holze noch ein andrer Pilz, der aber auch im weißfaulen Holze auftritt, Staphylosporium violaceum *Willk.* oder Rhynchomyces violaceus *Willk.*; er trägt an schnabelartig verlängerten Hyphenästen einen oder mehrere Quirle eiförmiger, zweizelliger, dunkelblauer Conidien. Willkomm hält diesen und den Xenodochus für zusammengehörig, beide für Formen einer Art; R. Hartig (l. c.) hat diese Überzeugung nicht in hinreichendem Maße gewinnen können; im Xenodochus vermutet er einen Zustand von Ceratostoma piliferum *Fr.*, dessen kleine schwarze Perithecien allerdings häufig an den Oberflächen faulen Holzes sich finden. Möglicherweise könnte es sich aber auch um Mycelien großer Hymenomyceten handeln, da wir jetzt durch Brefeld wissen, daß auch bei diesen Pilzen Conidienbildungen an Mycelien vorkommen können.

---

[1]) Zersetzungserscheinungen des Holzes, pag. 66.

3. Kapitel.

Die Verwundungsarten.

A. Das Aufspringen fleischiger Pflanzenteile.

Aufspringen fleischiger Pflanzenteile

Es handelt sich hier um Wunden, welche nicht durch den mechanischen Eingriff eines fremden Körpers, sondern aus inneren Ursachen, also von selbst entstehen, nämlich durch Kräfte, welche von der Pflanze selbst erzeugt werden. Man sieht ein solches Aufspringen nicht selten am Kohlrabi, an Rettigen, an Möhren und Selleriewurzeln, auch bisweilen an den Kartoffeln, sowie an manchen saftigen Früchten, z. B. an Kirschen und Pflaumen, auch an Birnen, wo dies manchmal an der noch unerwachsenen Frucht eintritt, die dann sich nicht weiter entwickelt. An einem ziemlich reifen Maiskolben fand ich zahlreiche Körner von selbst aufgesprungen und zwar in allen Stadien der Wundbildung; das erste Stadium war ein feiner Riß in der äußeren Schicht des Pericarps, welches durch die rasche Vergrößerung des Kornes, der es nicht folgen konnte, gesprengt worden war; der höchste Grad bestand in einer weit klaffenden und bis tief ins Endosperm dringenden Wunde, durch welche das Korn ganz gesprengt und verdorben wurde, indem saprophyte Pilze, Cladosporium-Mycelium, sich ansiedelten. Auch an krautigen Stengeln kann die Erscheinung sich zeigen, wenn diese ungewöhnlich üppig gewachsen oder sonst hypertrophisch und mißgebildet sind; so sah ich verbänderte Blütenschäfte von Taraxacum officinale nach Regenwetter von selbst so zersprungen, daß sie fast zusammengeknickt waren. Das Aufspringen ist immer eine Folge der Ausdehnung des wachsenden Parenchyms, der die Hautschichten nicht in gleichem Maße zu folgen vermögen, so daß zwischen beiden Geweben sich eine hochgradige Gewebespannung einstellt. Diesen ungewöhnlichen Grad erreicht die letztere namentlich durch eindringendes Wasser, weil dann das unter der Hautschicht liegende Parenchym reichlich Wasser auffaugt und dadurch immer turgescenter und voluminöser wird. Daher vergrößert sich die einmal entstandene Wunde bei Anwesenheit von Feuchtigkeit bedeutend, und auch jede noch so kleine aus irgend welchen Ursachen entstandene Wunde kann unter diesen Umständen zum Aufspringen der betreffenden Pflanzenteile führen. Darum kommt dies auch besonders häufig nach langem Regenwetter vor. Auch kann man durch Kulturversuche, z. B. mit Möhren in

Wasser, das Aufspringen der Wurzeln willkürlich hervorrufen [1]). Pflanzenteile, welche unterirdisch oder nahe am Boden wachsen, sind häufig mit kleinen Wundstellen versehen, die vom Fraß der Schnecken und andrer Tiere herrühren und so lange sie noch nicht durch Wundkork geheilt sind, Wasser eindringen lassen, wodurch ein Aufplatzen herbeigeführt werden kann. Das Aufspringen reifer, saftiger Früchte bei andauerndem Regenwetter hat Boussingault [2]) auch als Folge des Eindringens von Wasser nachgewiesen, indem er fand, daß, während Blätter im Regen keine Gewichtszunahme zeigen, reife, zuckerhaltige Früchte, die in Wasser untergetaucht werden, an Gewicht zunehmen, während sie zugleich Zucker an das umgebende Wasser abgeben.

Die aufgesprungenen Stellen von Wurzeln und Knollen können durch Bildung von Wundkork (S. 61) heilen. Befanden sich die betreffenden Pflanzenteile noch in der Periode des Wachstums, so können die durch Kork geschützten aufgesprungenen Stellen eigentümlich auswachsen, wie es manchmal an Kartoffelknollen vorkommt.

B. Abgeschnittene Pflanzenteile.

Abgeschnittene Pflanzenteile

Die vegetabilischen Zellen sind in ihrer Lebensfähigkeit viel selbstständiger und von einander unabhängiger als diejenigen des tierischen Organismus. Die Abtrennung von Organen vom pflanzlichen Körper hat daher für dieselben weit seltener unmittelbar tödliche Wirkung, als es am tierischen Körper der Fall ist. Es ist allgemein bekannt, daß abgeschnittene Sprosse, selbst einzelne Blüten oder Blätter, Tage lang am Leben bleiben, zum Teil sogar in ihrer Entwickelung fortschreiten können, wenn man dafür sorgt, daß sie Wasser auffangen können oder keines durch Verdunstung verlieren, d. h. wenn sie in Wasser, feuchten Sand u. dergl. gesetzt oder in einen Raum mit feuchter Luft gebracht werden, und daß bei Pflanzen mit sehr geringer Verdunstung, wie bei Succulenten, selbst ohne Wasserzufuhr und in trockener Luft abgeschnittene Teile lange am Leben bleiben. Der früher oder später eintretende Mangel an Nahrung wird hier endlich die Ursache des Todes. Und wenn die Pflanze die Fähigkeit hat, leicht Wurzeln zu bilden oder sonst in ihrer Weise sich zu verjüngen, so können abgeschnittene Teile, genügende Feuchtigkeit vorausgesetzt, sogar zu neuen Pflanzenindividuen sich entwickeln. Der gewöhnlichste derartige Fall ist die Vermehrung der Pflanzen durch

---

[1]) Vergl. Hallier, Phytopathologie, pag. 87.

[2]) Annales des sc. nat. 5, sèr. T. XVIII.

Stecklinge, die am leichtesten bei Holzpflanzen, aber auch bei perennierenden und selbst bei einjährigen Kräutern nicht selten gelingt, und die darauf beruht, daß in der Nähe des unteren Endes des abgeschnittenen Zweiges, wenn derselbe in Wasser oder feuchte Erde gesteckt wird, sich Adventivwurzeln bilden, die dann den Zweig zu ernähren vermögen, so daß er als selbständige Pflanze weiter wachsen kann. Von der Regeneration der Wurzeln an den Stecklingen ist schon oben (S. 91) die Rede gewesen. Auch aus Wurzelstücken lassen sich sogenannte Wurzelstecklinge erziehen, was besonders bei manchen Holzpflanzen und sogar bei einigen Kräutern ausführbar ist, indem an den Wurzelteilen Adventivknospen sich bilden, welche zu Trieben auswachsen. Sogar Blattstecklinge lassen sich von manchen Pflanzen gewinnen, wo an abgeschnittenen Blättern oder Blattstücken, die auf eine feuchte Unterlage gelegt werden, Wurzeln und Adventivknospen sich bilden, die sich zu neuen Pflänzchen entwickeln. Dieses gelingt besonders bei Cardamine pratensis (wo es oft spontan eintritt), bei Begonia, Bryophyllum, Peperomia rc.[1]), und diese Eigenschaft wird daher in der gärtnerischen Praxis zur Vermehrung dieser Pflanzen angewendet. Hierher gehört auch die Bildung von Adventivknospen in Form kleiner Zwiebeln an verwundeten Hyazinthenzwiebeln, welche Masters[2]) erwähnt. Dieselben bilden sich an den Schnittflächen von der Grenze der Zwiebelschalen aus, wenn man der Zwiebel entweder die Basis abschneidet und die Schnittfläche sternförmig nach oben einschneidet oder wenn man sie von unten aushöhlt. Hildebrand[3]) sah sogar an abgelösten Blütenknospen und Fruchtknoten von Opuntia-Arten sich bewurzelnde Sprosse entstehen. Die Veränderungen der Gewebe, die an der Schnittfläche der Stecklinge eintreten, behufs der Heilung derselben, sind im Artikel über die Wundenheilung besprochen worden. Der Vorgang bei der Bildung der Adventivknospen an den Blattstecklingen ist in einigen Fällen untersucht worden. Nach Regel[4]) entstehen bei den Blattstecklingen von Begoniaceen, nach Magnus[5]) an Blättern von Hyacinthus und nach Berge[6]) an den Blättern von Bryophyllum die Adventivknospen, nicht wie sonst endogen, sondern exogen, d. h.

---

[1]) Vergl. die Aufzählung bei Masters, Vegetable Teratology, pag. 170.

[2]) l. c. pag. 172 u. 173.

[3]) Berichte d. deutsch. bot. Gesellsch. 1888, pag. 109.

[4]) Die Vermehrung der Begoniaceen aus ihren Blättern. Jenaer Zeitschrift f. Nat. 1876, pag. 477.

[5]) Bot. Ver. d. Prov. Brandenburg, 30. Mai 1873 u. 16. Juni 1878.

[6]) Beitr. zur Entwickelungsgeschichte von Bryophyllum calicinum. Zürich 1877.

durch Teilung der oberflächlichen Zellen des Blattgewebes, beziehentlich aus der Epidermis. Ebenso sah Hansen[1]) bei Begonia die Knospen aus Epidermiszellen des durchschnittenen Blattnerven bald nahe, bald ferner von der Verwundungsstelle entstehen, indem sich durch wiederholte Teilung der Epidermiszelle das Meristem des jungen Sprosses entwickelt. Auch bei Peperomia entstehen die Knospen nach Beinling[2]) insofern exogen, als sie unabhängig von den Gefäßbündeln direkt aus dem Grundparenchym des Blattes unmittelbar unter der Schnittfläche sich bilden und nur den Wundkork durchbrechen. Hansen sah bei Achimenes und Peperomia Wurzel- und Sproßbildung aus oberflächlichen Zellen des Callusgewebes hervorgehen, welches an den Schnittflächen sich bildet. Weitere hierher gehörige Erscheinungen sind die Vorkeimsprossungen an abgeschnittenen Blättern, Stengeln und Früchten von Moosen ꝛc.

Welken abgeschnittener Sprosse.

Die abgeschnittene Sprosse zeigen bei aller Lebensfähigkeit häufig eine bemerkenswerte pathologische Erscheinung; obgleich man sie ins Wasser gestellt hat, welken sie. Die Ursache dieser allbekannten Erscheinung ist durch eine meist mit Helianthus tuberosus angestellte Untersuchung von de Vries[3]) etwas näher bekannt geworden. Darnach tritt dieselbe nur dann ein, wenn die Sprosse in der Luft durchschnitten werden, und es nutzt dann nichts, wenn man dieselben auch noch so rasch ins Wasser stellt. Aber die Erscheinung unterbleibt, wenn der Schnitt gleich unter Wasser gemacht wird. Auch wenn man die Verdunstung des Sprosses und somit die Wasserströmung im Stengel vermindert durch Untertauchen der Sprosse unter Wasser und sie dann an der Luft abschneidet, tritt nach 1—2 Tagen Welken ein; wenn sie 1½ Stunden lang unter Wasser gewesen, welken sie erst nach 3 Tagen; je geringer also die Wasserströmung, desto langsamer tritt das Welken ein. Es geht daraus hervor, daß die Ursache des Welkens in einer Unterbrechung der Wasserleitung während des Abschneidens in der Luft liegt, und daß diese Unterbrechung eine Verminderung der Leitungsfähigkeit des Stengels für Wasser zur Folge hat. Darum werden solche welke Sprosse wieder frisch, wenn man ihnen eine Anzahl Blätter wegnimmt, und Sprosse, die vor dem Abschneiden eines Teiles der Blätter beraubt worden sind, welken gar nicht, weil dann eine geringere Menge Wasser erforderlich ist. Die Unterbrechung der

---

[1]) Flora 1879, pag. 254 u. Sitzungsber. d. physic.-med. Soc. zu Erlangen, 14. Juni 1880.

[2]) Untersuch. über d. Entst. der advent. Wurzeln und Laubknospen an Blattstecklingen von Peperomia. Breslau 1878.

[3]) Arbeiten des bot. Inst. zu Würzburg. 3. Heft, pag. 287.

Leitungsfähigkeit erstreckt sich nicht über den ganzen Stengel, sondern nur auf eine gewisse Strecke oberhalb der Schnittfläche. Wenn nämlich welke Sprosse 5—6 cm oberhalb der Schnittfläche unter Wasser durchschnitten wurden, so wurden sie wieder frisch, während dieselbe Operation in nur 1 cm Entfernung dies noch nicht bewirkte. Es giebt einige äußerliche Mittel, um die verminderte Leitungsfähigkeit wieder zu erhöhen und also welke Sprosse wieder frisch zu machen. Sachs[1]) fand, daß erhöhter Druck die Wasserleitung beschleunigt und auch die Leitungsfähigkeit wieder normal macht: wenn der welke Sproß in den kurzen Schenkel einer zum Teil mit Wasser gefüllten U-förmigen Glasröhre fest eingesetzt, und in den andern Schenkel Quecksilber gegossen wird, so wird der Sproß in kurzer Zeit wieder turgescent. Ein andrer in der Praxis seit langem mit Erfolg angewendeter Gebrauch, bei welchem man die welken Sprosse durch Einsetzen in warmes Wasser (ungefähr 35° C.) wieder frisch macht, lehrt, daß Erwärmung des Stengels die Leitungsfähigkeit desselben bedeutend erhöht.

C. Veredelung.

Veredelung.

Abgeschnittene Pflanzenteile können außer durch eigene Bewurzelung auch durch Übertragung auf ein lebendes Individuum, wie es bei der Veredelung geschieht, am Leben erhalten und zu weiterer Entwickelung befähigt werden. Aber diese Möglichkeit ist bekanntlich in bestimmte Grenzen eingeschlossen, indem zwischen vielen Pflanzen eine solche Verbindung sich entweder gar nicht herstellen läßt, oder doch, wenn sie geschehen ist, für den Impfling eine krankhafte Entwickelung und ein zeitiges Absterben zur Folge hat. Besonders um dieser letzteren Erscheinungen willen ist die Veredelung hier zu berühren. Dagegen haben diejenigen Veränderungen, welche bei gelungener Veredelung am Wildling und am Impfling oft eintreten, nämlich die Übertragung von Merkmalen des einen auf den andern, kein pathologisches Interesse, sondern sind Gegenstand der Physiologie.

Im allgemeinen darf die Möglichkeit der Veredelung als auf die Dicotyledonen beschränkt gelten. Nach Decandolle[2]) hat man zwar Dracaena ferrea auf Dracaena terminalis gepfropft, aber im zweiten Jahre vertrocknete sie und ging zu Grunde. Holzige Pflanzen und fleischige Pflanzenteile sind am meisten zur Veredelung geeignet. Am besten schlägt die Operation an zwischen Pflanzen derselben Species. Allein in vielen Fällen läßt sich die Veredelung mit Erfolg auch

---

[1]) Lehrbuch d. Botanik, 2. Aufl. pag. 575.

[2]) Physiologie végétale II, pag. 758.

zwischen zwei verschiedenen Species vornehmen. Dies ist jedoch immer nur innerhalb einer und derselben natürlichen Familie möglich. Alle Arten einer Familie lassen sich jedoch nicht auf einander pfropfen; es ist dazu eine gewisse nähere Verwandtschaft in anatomischer und physiologischer Beziehung erforderlich. Aber niemals ist die Pfropfung außer der Familie gelungen; alle gegenteiligen Angaben älterer Beobachter haben bei exakten Wiederholungsversuchen sich nicht bestätigt und sind als unglaubwürdig zu betrachten. Zwischen verschiedenen Species einer Familie gelingt zwar die Veredelung oft anfänglich, die Pfropfreiser wachsen zwar an, aber sie wachsen oft nicht weiter oder entwickeln sich in den nächstfolgenden 3—4 Jahren kümmerlich, um dann abzusterben, oder tragen wohl auch im ersten Jahre nach der Operation Früchte, gehen danach aber zu Grunde. Dies gilt z. B. von den Impfungen verschiedener Oleaceen auf einander, nämlich von Flieder auf Esche, von Chionanthus auf Esche und Flieder, von Flieder auf Phyllirea, von Ölbaum auf Esche und von Ölbaum auf Hartriegel[1]. In den meisten Fällen beobachtet man dasselbe beim Veredeln von Birnen auf Äpfel und umgekehrt; doch sind auch ausnahmsweise Beispiele dauernd gelungener Veredelung von Birnen auf Äpfel bekannt; ebenso haben Pfropfungen von Süßkirschen auf Sauerkirschen, von Kirschen auf Pflaumen und umgekehrt in der Regel keinen dauernden Erfolg, obwohl gelungene Fälle dieser Art vorkommen[2]. Nach Eblen[3] soll Prunus cerasifera eine sehr gute Unterlage zur Veredelung mit allen Sorten Pflaumen, sowie mit Aprikosen sein. Nach Strasburger's[4] Mitteilungen finden Verwachsungen zwischen Edelreis und Unterlage sogar innerhalb weiter Grenzen statt, nämlich in der Familie der Solanaceen zwischen Angehörigen verschiedener Gattungen. Einen gewissen Einfluß auf die erfolgreiche Vereinigung zwischen Edelreis und Unterlage übt manchmal die Art der Veredelung aus. So sollen verschiedene Birnenvarietäten auf Quitte nicht anschlagen oder bald zu Grunde gehen, wenn sie okuliert werden, hingegen sich sehr gut entwickeln und große Fruchtbarkeit zeigen, wenn man in den Spalt pfropft und als Edelreis eine Zweigspitze benutzt; ebenso sollen auf Ligustrum ovalifolium zahlreiche Arten und Varietäten von Syringa gut anschlagen bei Pfropfen in den

---

[1] Vergl. Decandolle, l. c. pag. 791.

[2] Vergl. besonders Stoll in Wiener Obst- u. Gartenzeitg. 1810, pag. 10, Sorauer, Pflanzenkrankheiten. 2. Aufl I, pag. 689 und Sahut, Revue horticole. Paris 1885, pag. 13 etc.

[3] Pomologische Monatshefte von Lucas 1885, pag. 41.

[4] Berichte d. deutsch. bot. Gesellsch. 1885, pag. XXXIV.

Spalt, bei Okulation aber soll es nur mit Syringa Josikea gelungen sein[1]). Es ist auch bekannt, daß man oft erfolgreich auf Wurzeln pfropft und daß dazu selbst Wurzeln alter Obstbäume, deren Stämme entfernt werden müssen, sich gut verwenden lassen, wobei natürlich die Gesundheit der Wurzeln eine Bedingung ist.

Von dem Heilungsprozesse bei der Veredelung, d. h. von der Verwachsung des Impflings mit der Unterlage ist oben (S. 87) die Rede gewesen. Bisweilen hat hier die Verwundung eine ungewöhnliche Entwickelung von Adventivknospen aus dem unter der Pfropfstelle sich bildenden Wulst zur Folge. Moquin-Tandon[2]) berichtet von einer veredelten Ulme, an welcher unterhalb der Pfropfstelle mehr als tausend dicht gedrängte Zweige hervorgebrochen waren.

D. Verstümmelung der Samen.

Verstümmelung der Samen.

Es handelt sich hier um die schädlichen Folgen, welche eine Verletzung der Samen auf die Keimung und die weitere Entwickelung ausübt. Durch Bruch, sowie durch die Verletzungen, die gewisse Tiere, besonders Samenkäfer (Bruchus-Arten) an den Samen hervorbringen, wird erfahrungsmäßig die Keimfähigkeit der Samen beeinträchtigt. Eine genauere Kenntnis der verschiedenen Folgen, die aus der Verwundung oder dem Verlust bestimmter Organe der Samen und der Embryonen resultieren, ist gewonnen worden, indem man die verschiedenartigen Organe künstlich weggeschnitten und den Erfolg beobachtet hat.

Verlust der Reservenährstoffbehälter.

Verlust der Reservenährstoffbehälter. Wenn man die Behälter der Reservenährstoffe wegschneidet, also die Cotyledonen, beziehentlich das Nährgewebe oder Endosperm, wenn in einem solchen die Reservestoffe aufbewahrt sind, so wird dadurch zwar die Keimfähigkeit nicht alteriert, aber die daraus sich entwickelnden Pflanzen sind Zwerge, und zwar richtet sich die Abnahme der Größe und des Gewichtes der produzierten Pflanze nach dem Verhältnis des verlorenen Nährmaterials; die Pflanze kann unter Verzwergung bis zur Bildung reifer Früchte gelangen oder auch schon vorzeitig zu Grunde gehen. Bonnet[3]) hat zuerst solche Versuche mit Bohnen und Buchweizen angestellt. Eingequellten Bohnen wurden beide Cotyledonen weggeschnitten; der Rumpf des Keimes dann so in die Erde gesteckt, daß die Plumula hervorragte. Die Pflanzen entwickelten sich trotzdem,

---

[1]) Nach Carrière in Revue hortic. 1876. II. pag. 208.

[2]) Pflanzen-Teratologie, pag. 379.

[3]) Nutzen der Blätter bei den Pflanzen. Deutsch von Arnold, pag. 137 ff.

aber in außerordentlicher Kleinheit; als sie zu blühen begannen, waren sie nur 5,4 cm hoch (gleichalterige unverletzte 49 cm), ihre größten Blättchen waren nur 3,5 cm lang und 1,5 cm breit; die Blüten waren verhältnismäßig klein und in geringer Anzahl. Wenn die Operation an den Bohnen erst ausgeführt wurde, sobald sie aufgegangen waren, war die Reduktion in der Größe etwas minder bedeutend: die ersten Blätter waren nur 5,4 cm lang, aber auch während des ganzen Wachstums blieb ein Unterschied merklich, es kamen weniger Blüten, weniger und kleinere Früchte zur Entwickelung. Viel stärker war der Einfluß des Abschneidens der Cotyledonen an den Buchweizenpflänzchen; die meisten starben und die davon gekommenen blieben elend. Dieselben waren nach drei Wochen nur 2,7 cm hoch (gegen 16 cm der gleichalterigen unverwundeten) und hatten 1 cm lange und 0,6 cm breite Blätter. Zuletzt hatten sie 13,5 cm Höhe erreicht, waren ohne Zweige und die sehr kleinen und wenigen Blüten hatten keinen Samen gebracht, während die gleichalterigen unversehrten Pflanzen 78,5 cm hoch waren und Zweige, Blüten und Körner in Menge hatten. Solche Versuche sind neuerdings noch weiter fortgesetzt worden, von Sachs[1]), Gris[2]), van Tieghem[3]) und zuletzt von Blociszewski[4]). Der letztere hat besonders die angedeutete Abhängigkeit der erreichbaren Größe von den in den Cotyledonen oder im Endosperm aufgespeicherten Reservestoffen anschaulich gemacht, indem er von Roggen, Hafer, Mais, Erbsen, Lupinen, Klee und Ölrettig bald nur einen ganzen Cotyledon, bald zwei Hälften querdurchschnittener Cotyledonen, bald die Hälfte oder ein Viertel des Endosperms abtrennte und beobachtete, wie die daraus hervorgegangenen Pflanzen in ihrem Gewichte die Mitte hielten zwischen den aus ganzen Samen erhaltenen und denen, welche der Reservestoffbehälter total beraubt worden waren. Das schließt natürlich nicht aus, daß nachträglich solche Pflanzen unter günstigen Umständen sich noch erholen und bis zu normaler Fruchtproduktion gelangen können, zumal wenn der Verlust der Reservestoffbehälter ein mäßiger gewesen ist. Es ist daher erklärlich, daß Haberlandt[5]) bisweilen an Pflanzen, die aus Getreidekörnern erwachsen waren, die

---

[1]) Keimungsgeschichte der Schminkbohne. Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wiss. Wien 1859.

[2]) Ann. des sc. nat. 5 sér. T. II. pag. 107.

[3]) Ann. des sc. nat. 5 sér. T. XVII. pag. 205 ff.

[4]) Landw. Jahrbücher 1876, pag. 145 ff.

[5]) Einfluß der Verstümmelung der Getreidekörner auf die nachfolgende Entwickelung der Pflanze. Wissenschaftlich-praktische Untersuchung I. 1875, pag. 234.

die Hälfte ihrer Reservestoffe eingebüßt hatten, größere Körnermengen gewann als an solchen, denen nur der vierte Teil der Reservestoffe genommen worden war.

Verlust der Teile des Embryo.

Verlust der Teile des Embryo. Ferner hat van Tieghem (l. c.) die Abhängigkeit der einzelnen Organe des Embryo von einander untersucht. Die Resultate waren bei endospermlosen Samen (Helianthus annuus) wie bei endospermhaltigen (Mais, Mirabilis) dieselben: wenn Achsenorgan, Wurzeln und Cotyledonen eines Embryo von einander getrennt und normalen Keimungsbedingungen ausgesetzt werden, so wächst jeder dieser Teile und vergrößert sich, als ob er mit den anderen zusammenhinge, aber nach kurzer Zeit gehen sie zu Grunde, das Stengelchen erst, nachdem es neue Nebenwurzeln gebildet hat. Die Cotyledonen ergrünen, bekommen an der Schnittfläche kleine Nebenwurzeln, endlich eine Knospe, die zu einem Pflänzchen auswächst; selbst die Stücke halbierter oder gevierteilter Cotyledonen liefern unter Vernarbung der Schnittfläche neue Pflänzchen. Dagegen konnte Blociszewski (l. c.) an abgeschnittenen Cotyledonen von Erbsen und Lupinen zwar Wurzeln, aber nie vollständige Pflänzchen erhalten.

Künstliches Endosperm.

Ersatz des Endosperms durch ein künstliches. Wie schon Gris (l. c.) beobachtete, fand auch van Tieghem, daß (bei Mirabilis) ein des Endosperms beraubter Embryo sich in den ersten Tagen normal zu einer Keimpflanze ausbildet; aber das weitere Wachstum unterbleibt, indem die Knospe sich nicht weiter entwickelt. Aber er fand auch die interessante Thatsache, daß für das weggenommene Endosperm mit Erfolg ein künstliches substituiert werden kann. Er hüllte nämlich die nackten Embryonen von Mirabilis in einen Brei, der aus ihrem eigenen mit Wasser zerriebenen Endosperm oder auch aus Kartoffelstärke und Buchweizenmehl hergestellt worden war. Es bildeten z. B. nach 12 Tagen nackte Embryonen 35 mm lange Stengel mit unentwickelter Plumula und 15 mm langen Cotyledonen, in Endospermbrei eingehüllte 60 mm lange Stengel mit 20 mm lang entwickelter Plumula und 25 mm lange Cotyledonen, während die normal gekeimten 70 mm lange Stengel mit 40 mm lang entwickelter Plumula bekommen hatten. Es wurde auch konstatiert, daß die Embryonen einen Teil dieser künstlichen Nahrung aufnehmen, wenn auch bedeutend weniger als aus dem natürlichen und normal anhaftenden Endosperm.

E. Verwundung der Wurzeln.

Verwundung der Wurzeln.

Jede Beschädigung des Wurzelsystems ist für die Pflanze nachteilig; die schädlichen Folgen derselben sind oben (S. 26) beschrieben

worden. Die Veranlassungen zu Wurzelverwundungen sind sehr mannigfaltig; letztere geschehen teils durch den Fraß sehr vieler Tiere, teils und vornehmlich durch Menschenhand beim Kulturbetriebe, nämlich überall, wo Pflanzen ausgehoben und verpflanzt werden.

Bei Holzpflanzen. Beim Verpflanzen der Holzgewächse tritt naturgemäß die gröbste Verletzung des Wurzelsystems ein, weil bei der weiten und tiefen Ausbreitung der Wurzeln dieser Pflanzen ein Abreißen und Abstechen selbst stärkerer Wurzeln oft, namentlich bei älteren Pflanzen, unvermeidlich ist. Man nimmt ja hierbei auch gewöhnlich sogar ein Beschneiden der Wurzeln vor, indem die letzteren so gekürzt werden, daß sich aus den stehen gebliebenen Wurzelteilen erst wieder neue Saugwurzeln bilden müssen. Da nun gerade die letzteren es allein sind, welche der Pflanze Wasser und Nahrung aus dem Boden zuführen, so ist der augenblickliche Nachteil dieser Operation begreiflich. Bei Coniferen und Cupuliferen, wo die Saugwurzeln Mykorhizen sind, hat das Beschneiden der Wurzeln außerdem die Entfernung der als Amme bei der Ernährung des Baumes fungierenden Wurzelpilze[1]) zur Folge und es könnte denkbar sein, daß beim Verpflanzen in einen andern Boden die betreffenden Wurzelpilze nicht vorhanden sind und daher die Wiederbildung der Mykorhizen verhindert oder wenigstens verzögert wird. Jedes zwecklose Beschneiden der Wurzeln sollte also vermieden werden. Beim Ausheben der Pflanzen, sowie beim Transport und Einpflanzen muß die möglichste Schonung des Wurzelballens beobachtet werden; bei Topfpflanzen müssen gerade die äußersten Wurzeln, welche sich auf dem Boden und an den Wänden des Topfes ausbreiten, da sie die jüngsten und thätigsten sind, geschont werden. Nicht zu umgehen ist das Beschneiden der jungen Wurzeln, welche beim Ausheben gebrochen oder geknickt sind, und es muß dies durch einen glatten Schnitt direkt oberhalb der beschädigten Stelle geschehen. Viele Holzpflanzen reproduzieren allerdings nach Zurückschneiden der Wurzeln die Saugwurzeln ziemlich leicht und bilden dann einen um so dichteren Wurzelballen, was unter Umständen von Vorteil sein kann. Da natürlich die Pflanze, so lange sie nicht im Besitze genügender Saugwurzeln ist, auch ihren Ästen nicht die erforderliche Menge von Wasser und Nahrung zuführen kann, so muß man den versetzten Pflanzen, besonders wenn es ältere oder gar schon höhere Bäume sind, einen Teil der Äste abschneiden, um dadurch ihren Wasserbedarf auf ein geringeres Maß zu reduzieren; es werden dann eben zunächst nur wenige Knospen zu neuen blättertragenden Zweigen. Es ist sogar möglich, erwachsene

---

[1]) Vergl. mein Lehrbuch der Botanik. Leipzig 1892 I, pag. 260.

alte Bäume umzusetzen; doch nimmt die Unsicherheit des Erfolges mit dem Alter des Baumes rasch zu. Am gefährlichsten für die Holzpflanzen und daher ganz verwerflich ist die Verpflanzung im völlig beblätterten Zustande, weil dann das Mißverhältnis zwischen Wasserverbrauch und Wurzelarbeit am größten ist. Man verpflanzt daher die Holzpflanzen im blattlosen Zustande, also entweder im Herbst oder Anfang Winter oder im zeitigen Frühjahr, möglichst früh vor dem Knospenaustrieb, um für die Neubewurzelung möglichst viel Zeit zu gewinnen. Für jüngere Gehölze ist Herbst- oder nicht zu späte Frühjahrspflanzung gleich günstig; für einigermaßen ältere Pflanzen hat die Frühjahrspflanzung immer größere Gefahren als Verpflanzung im Herbste oder auch im Winter mit gefrorenem Wurzelballen. So haben die vergleichenden Versuche von Götze[1]) für Obstbäume ergeben, daß dem Verpflanzen im Herbst mit nachfolgendem Schnitt im Frühjahre der Vorzug gebührt. Für Waldbäume hat sich herausgestellt, daß bei der Fichte der Verlust für die im Juni, Juli, August und September ausgeführten Pflanzungen auf 16,3 Prozent, 16,0 Prozent, 19,2 Prozent, und 13,7 Prozent sich stellten, während er aus den Pflanzungen der Monate April, Mai und Oktober 9,8 Prozent, 10,8 Prozent und 11,1 Prozent betrug. Bei der Kiefer stellte sich der Verlust im April sogar noch auf 22 Prozent. Die Laubhölzer verhalten sich nach denselben Versuchen bei Herbstpflanzung viel günstiger als die Nadelhölzer, bei denen Frühjahrspflanzungen vor und kurz nach dem Knospenaufbruche am günstigsten sind[2]).

Bei Kräutern.

Beim Verpflanzen krautartiger Gewächse zeigt sich die Beschädigung des Wurzelsystems sehr deutlich daran, daß diese Pflanzen unmittelbar nach dem Umsetzen mehr oder minder stark welken, was selbst durch reichliches Angießen der Pflanzen nicht zu verhüten ist; bei trockenem Wetter gehen dadurch sogar viele Pflanzen zu Grunde; beim Auspflanzen der Rüben, des Kohls, des Salates ꝛc. ist das eine allbekannte Erscheinung. Dieses Welkwerden läßt sich nur dann umgehen, wenn man das Endstück, in welchem sämtliche Wurzeln verbreitet sind, im ganzen aushebt. Sobald man aber die Erde von den Wurzeln lockert, und selbst wenn man dabei mit der größten Schonung verfährt, um keine Wurzel abzureißen, so wird man, selbst wenn letzteres gelungen sein sollte, die Pflanze dennoch nach dem Wiedereinpflanzen zunächst Welkungserscheinungen zeigen sehen. Es erklärt sich dies aus der hierbei unvermeidlichen Zerstörung der eigentlich auf-

[1]) Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten. II. Band 1892, pag. 182.
[2]) Deutsche Forst-Zeitung, 13. November 1892.

saugenden Organe der Wurzeln, nämlich der zarten Wurzelhaare, mit denen sie in großer Zahl bekleidet sind. Beim Ausheben der Pflanzen werden diese entweder ganz abgerissen oder doch mechanisch beschädigt, weil dieselben ja mit den Bodenpartikelchen innig verwachsen sind. Ein in dieser Weise verwundeter Wurzelkörper vermag daher unmittelbar nachher nicht in genügendem Grade zu funktionieren; erst dann, wenn die Wurzelspitzen wieder ein neues, mit Haaren versehenes Stück gebildet haben oder neue Seitenwurzeln entstanden sind, verschwindet mit dem Beginn erhöhter Wurzelthätigkeit der welke Zustand wieder.

F. Die Stamm- und Zweigverstümmelungen.

Abweiden und Abmähen.

I. Krautartige Pflanzen kommen infolge von Abweiden durch Tiere oder von Abmähen sehr oft um ihren ganzen oberirdischen Stengel. Bei Pflanzen von einjähriger Dauer wird dann oft derselbe nicht wieder ersetzt und die zurückgebliebene Wurzel stirbt ab. Perennierende Pflanzen ersetzen dagegen das Verlorene meist in vermehrter Anzahl durch Reproduktion neuer Sprosse, von welcher S. 92 näher die Rede war. Es ist allbekannt, daß viele solcher Pflanzen einen zwei- oder mehrfachen Schnitt gewähren. Nur ist bezüglich der Zeit der danach eintretenden Reproduktion und bezüglich der Fähigkeit der Pflanze, wie oft sie diese Operation aushält, folgendes zu bemerken. Diejenigen Pflanzen, deren Entwickelungsperiode an eine bestimmte Jahreszeit geknüpft ist, wie namentlich die eigentlichen Frühjahrspflanzen, kommen durch Abschneiden ihrer oberirdischen Teile um die Vegetation eines vollen Jahres, denn sie treiben von neuem erst, wenn im nächsten Frühlinge ihre natürliche Zeit gekommen ist. Viele andre ersetzen noch in demselben Jahre die verlorenen Triebe ein und sogar mehrere Male, wie wir vom Klee und ähnlichen Pflanzen wissen, welche mehrmals im Jahre geschnitten werden können. Eine perennierende Pflanze erträgt um so leichter einen mehrmaligen Verlust ihrer grünen oberirdischen Organe, je später die letzteren weggenommen werden, also je länger sie an den Pflanzen funktioniert haben. Denn diese sind nötig, um die unterirdischen Organe zu ernähren, mit Reservestoffen zu füllen, und sie so in den Stand zu setzen, durch Bildung neuer Sprossen die Pflanze zu verjüngen. Wenn man daher beharrlich die jungen oberirdischen Triebe bald nach ihrem Erscheinen wieder wegschneidet, so findet keine Ernährung der unterirdischen Teile statt, vielmehr werden dieselben durch die wiederholte Bildung neuer Organe erschöpft, und die Pflanze geht endlich aus. Deshalb ist dies auch ein Mittel, um Unkräuter, bei denen das Aus-

roden der unterirdischen Teile sich schwer bewerkstelligen läßt, zu vertilgen. Durch geeignetes und rechtzeitiges Zurückschneiden der Stengel kann man solche Pflanzen aber auch zu längerer Lebensdauer bringen, sogar einjährige zu zweijährigen und selbst mehrjährigen machen, indem infolgedessen der untere Teil des Stengels sich verdickt und verholzt, wie z. B. bei der Reseda odorata.

Verstümmelung der Holzpflanzen.

II. Bei den Holzpflanzen kommen Verstümmelungen von Knospen, Zweigen oder stärkeren Ästen durch sehr viele Veranlassungen zu stande, und je nachdem resultieren mannigfaltige Erscheinungen. Es sind hier folgende Fälle zu unterscheiden:

Der künstliche Schnitt.

1. Der künstliche Schnitt, den man an Obst- und Ziersträuchen zur Erziehung des Stammes und zur Regulierung der Krone und besonders an denjenigen Gehölzen anwendet, die zu lebendigen Zäunen und Hecken gezogen oder nach französischem Geschmack zu allerlei Formen zugestutzt werden. Daran schließen sich auch die Verstümmelungen, die an ganz jungen Pflänzchen, z. B. in Saatkämpen, oder an ganz niedrigen Sträuchern, durch die Sichel beim Grasmähen, sowie durch Zertreten, Zerfahren und ähnliche durch den Verkehr bedingte Zerstörungen herbeigeführt werden. Denn in allen diesen Fällen werden die jüngeren Zweige der Pflanzen verstümmelt, und überall ist die Folge die, daß die oben (S. 93 ꝛc.) beschriebenen Reproduktionen unter Austreiben vorhandener Knospen, die der Wunde zunächst stehen, eintreten. Da beim Heckenschnitt und beim Beschneiden der Formbäume auch an den neuen Trieben dieselben Verstümmelungen wiederholt werden und diese immer wieder Reproduktionen nach sich ziehen, so werden diese Pflanzen durch die Anhäufung der Knospen und Triebe immer dichter.

Verbeißen.

2. Das Verbeißen durch das Wild und durch vorübergehendes Vieh. Hierbei werden die Spitzen oder auch größere Stücke der einjährigen Triebe der Holzpflanzen abgezwickt und gefressen. An den stehengebliebenen Zweigstumpfen sind dann häufig die Zahnspuren der Tiere kenntlich. Das Wild, zumal das Reh, verbeißt besonders im Winter bei Schnee, aus Mangel an andrer Nahrung, und geht sowohl die kleinsten jüngsten Pflänzchen, als auch größere Individuen an, diese soweit als das Tier die Triebe erreichen kann. Für ganz junge Pflänzchen sind diese Verstümmelungen oft tödlich. Wenn Wild in Saatkämpen ein- oder wenigjährige Kiefern verbeißt, so gehen oft viele derselben ein[1]), während ein- bis dreijährige Fichten, denen oft nur

---

[1]) Ratzeburg, Waldverderbnis I, pag. 191.

die Spitzen abgezwickt werden, durch Reproduktion sich retten[1]). Die letztere geschieht auch beim Verbeißen überall auf dieselbe Weise wie beim künstlichen Schnitt aus schon vorhandenen Knospen, wie S. 93 &c. beschrieben worden ist. Auch vom Verbeißen wird dieselbe Pflanze oft jahrelang wiederholt betroffen, da das Wild die Gewohnheit hat, die einmal verbeizten Pflanzen immer wieder anzugehen. Die Dichte der Zweigbildung, die sich infolge der steten Reproduktionen einstellt, in Verbindung mit dem Umstande, daß dieser Einfluß immer nur soweit an der Pflanze sich erstreckt, als das Tier reichen kann, bedingt gewisse eigentümliche abnorme Strauchformen. Junge Gehölze werden nach langjährigem Verbeißen infolge der Anhäufung vieler kurzer Triebe zu immer gedrungeneren Strauchformen. Fichten sehen aus wie dichte Perrücken oder Pyramiden; doch findet sich leicht ein Gipfeltrieb, der vom Wild unerreicht, den Höhenwuchs aus der Pyramide heraus übernimmt. Ganz ähnlich verhält sich die Kiefer. Ratzeburg[2]) berichtet von Kiefern, die auf einer Trift beständig von Schafen verbissen, nur auf dem Boden hingestreckte Stämme, mit kurzen, sich erhebenden Trieben bekommen hatten und von ferne wie grüne Rasen aussahen. Die Lärche wird nach Ratzeburg[3]) durch Verbeißen bald zu dichten, besenförmigen Büschen, aus denen aber immer Langtriebe hervorkommen, von denen schließlich einer zum Kronenaste wird, der in der Mitte des Busches sich erhebt; oder sie bildet niedergestreckte Triebe, die wie ein großes Nest aussehen, aus dem sich endlich auch ein Höhentrieb emporarbeitet. Schon ganz junge Lärchenpflänzchen verbissen, bekommen die Neigung, die Äste, die sie bald nach dem Verbeißen proleptisch treiben, horizontal auszubreiten. Unter den Laubhölzern vertragen Eiche, Rotbuche und Hainbuche vieljähriges Verbeißen am besten. Sie bilden wie auf einem Perrückenstocke stehend ein dichtes Nest von Trieben oder werden zu dichtbuschigen Krüppeln mit knickigen und sperrigen Ästen; auch hier arbeitet sich, wenn er verschont bleibt, ein Gipfeltrieb heraus, wenn nicht, so bleibt die Pflanze jahrelang in der Strauchform. Junge Rüstern werden nach mehrjährigem Biß durch ihre ungemein zahlreichen, büschelig stehenden Ersatztriebe zu wirklichen Besen. Alle solche verbeizte Büsche lassen sich wieder zum Höhenwuchs bringen, wenn man sie beschneidet, um den Trieb nach oben zu leiten, und sie eingattert, um die Tiere abzuhalten. Eine Schwächung in der Bildung des Holzes, insbesondere des Jahresringes nach Verstümmelung von Zweigen ist schon

[1]) l. c. pag. 258.
[2]) l. c. I, pag. 193.
[3]) l. c. II, pag. 66.

vom theoretisch-physiologischen Standpunkte zu erwarten, da ja dabei ein Verlust grüner Blätter stattfindet. Ratzeburg[1]) hat denn auch durch Beobachtung die schwächere Bildung des Jahresringes nach Verbeißen durch Wild an den verstümmelten Zweigen festgestellt, so bei der Kiefer, der Lärche, der Tanne.

Abbisse.

3. Abbisse und ähnliche Verstümmelungen jüngerer Zweige durch andre Tiere, besonders durch Insekten. Eichhörnchen beißen im Herbst und Winter an den Tannen und Fichten einjährige Zweiglein ab, um die Blütenknospen derselben auszufressen und lassen sie dann fallen. Besonders aber sind es viele Insekten, welche die jungen Zweige der Bäume in derselben Weise förmlich abstechen, so daß sie herunterfallen oder sie wenigstens so verletzen, daß sie absterben und dann noch eine Zeit lang im dürren Zustande stehen bleiben, was man bei den Nadelhölzern als Spieße bezeichnet. Auch diese Verletzungen können für junge Pflänzchen tödlich werden, während ältere wieder in derselben Weise wie in den vorigen Fällen durch Reproduktion reagieren, woraus wiederum verschiedene abnorme Baumformen sich ergeben, von welchen im späteren Teile dieses Buches bei den betreffenden Tieren die Rede sein wird.

Absprünge..

Unter Absprüngen versteht man die Erscheinung, daß ganze unversehrte einjährige Triebe von den Bäumen sich ablösen und abfallen, so daß sie bisweilen in großer Zahl den Boden rings um den Baum bedecken. Hieran sind keine Tiere noch sonstige äußere Veranlassungen schuld, denn es handelt sich hier um eine normale Erscheinung[2]), die mit dem herbstlichen Blattfall am nächsten verwandt ist, denn wie dieser kommen die Absprünge durch eine organische Abgliederung zu stande, indem sich an der Basis oder unmittelbar über dem untersten Internodium einjähriger, seltener mehrjähriger Triebe eine Trennungsschicht aus Korkgewebe bildet, welche die Abgliederung des noch frischen, mit ausgebildeten Blättern versehenen Zweiges im Sommer oder Herbst zur Folge hat. Am häufigsten sind solche Absprünge bei Taxodium, wo sie eine regelmäßige Erscheinung sind, ferner bei Quercus, Populus, Salix; auch bei der Fichte kommen unzweifelhaft wirkliche Absprünge vor, welche nicht von den Eichkätzchen bewirkt werden und die besonders nach Stürmen in Menge abfallen; auch bemerkt man sie, wenn auch minder häufig, bei vielen andern Holzgewächsen. Diese von selbst sich ablösenden Absprünge sind im allgemeinen schwächliche Zweige, die im Verhältnis zu andern ein schwaches Wachstum zeigen, für den Weiterbau des größeren Zweiges, an dem sie sitzen, überflüssig sind und sich daher aus dem Verbande des Ganzen lösen. Sie tragen offenbar mit zur Erzeugung der typischen Baumgestalt mancher Gehölze bei, lassen aber pathologische Folgen wohl nicht erkennen, daher wir sie hier nicht weiter berücksichtigen.

---

[1]) l. c. I, pag. 194 und II, pag. 25, 67.

[2]) Man vergl. Röse und Gonnermann in Bot. Zeitg. 1865, Nr. 14, 41 und 34; sowie Ratzeburg, Waldverderbnis, I, pag. 219.

Gipfel- und Astbruch.

4. Gipfelbruch, Astbruch, Ästung. Die hier genannten Verwundungen betreffen größere alte Äste der Bäume. Sie treten ein teils infolge von Witterungsphänomenen, wie Blitzschlag, Wind- und Schneebruch, teils bei gewissen Kulturmethoden, nämlich beim sogenannten Ausästen oder Aufästen der Baumkronen und bei der Zucht der Kopfhölzer. Ersteres ist entweder eine Grünästung, wobei noch lebende Äste abgesägt, abgehackt oder abgebrochen werden, oder eine Trockenästung, wenn sie sich auf schon vollkommen trockene und tote oder dürr werdende Äste bezieht. Zur letzteren ist auch ein von selbst eintretender Prozeß zu rechnen: die Reinigung des Stammes von den unteren Ästen, wenn die Bäume im geschlossenen Bestande stehen, indem hier infolge des Lichtmangels die Blätter derselben sich und den Ast nicht mehr genügend ernähren, so daß dessen Gewebe infolge der Funktionslosigkeit absterben, der Ast vertrocknet und von selbst abbricht oder durch Ausästen entfernt wird.

Folgen für die Ernährung.

Die Folgen, welche der Verlust lebender Äste für den Baum überhaupt hat, müssen selbstverständlich in einer Verminderung der Ernährung bestehen, die um so bemerkbarer sein wird, je größer der Verlust an assimilierenden Organen ist. Bei starken Ästungen kann daher der Zuwachs in den unteren Baumteilen ganz aufhören und selbstverständlich wird dann auch die Überwallung der Astwunden verzögert aus Mangel an assimilierten Bildungsstoffen. Es ist daher ratsam, starke Ästungen nicht auf einmal, sondern nach längeren Ruhepausen vorzunehmen.

Reproduktionen.

Die Reproduktionen, die nach diesen gröberen Verwundungen eintreten, geschehen, wie wir S. 99 gesehen haben, durch Adventivknospen nahe unterhalb der Wundstelle; jedoch verhalten sich wegen der ungleichen Fähigkeit, solche Knospen zu bilden, Laubbäume und Nadelbäume hierin im allgemeinen verschieden.

Kopfhölzer.

Da die Laubhölzer unter den Wundstellen so alter Teile leicht eine Brut von Adventivknospen erzeugen, aus denen sich Zweige entwickeln, die nach und nach zu neuen Ästen erstarken, so beruht darauf die Zucht der Kopfhölzer, zu denen sich besonders Weiden, Pappeln und Buchen eignen. Der Stamm wird seiner Spitze beraubt; unter der Schnittfläche treiben neue Zweige aus, die man nach einer Reihe von Jahren abermals an ihrer Basis köpft, worauf neue Adventivknospen daselbst gebildet und geweckt werden. Indem dies nun immer wiederholt wird, wächst der kurze Stamm mit zunehmendem Alter zu ansehnlicher Dicke heran, trägt aber auf seinem durch die fortwährenden Verwundungen mehr oder minder unförmig erweiterten Kopfe nur verhältnismäßig dünne, einander gleichstarke Äste in meist ungewöhnlich großer Anzahl. Die Verdickung des Kopfes rührt auch mit von einer Art Überwallung her, die von der Basis der zahlreichen Lohden ausgeht und welche die alten Stumpfe einzuhüllen sucht

und immer wieder neuen Adventivknospen den Ursprung giebt. Die so erzeugte Holz- und Rindenmasse des Kopfes senkt sich daher allmählich von oben über den Stamm herab. Sie hat eine sehr unebene Oberfläche, Hervorragungen, die teils berindet, teils schon entrindet sind. Im letzteren Falle zeigt sich das bloßliegende Holz als Maserholz, wie es stets bei reichlicher Adventivknospenbildung sich entwickelt. Die Rinde des Kopfes ist grindartig grob getäfelt. Die schließlich sich ergebende Baumform hängt übrigens noch davon ab, wie lange man die Äste bis zum Abschlagen stehen läßt und ob man späterhin die Äste ungestört sich fortentwickeln läßt oder nur diese dem Kopfschnitt unterwirft. Bei denselben Laubhölzern wird die Neigung, unter den Wundflächen sich durch Adventivknospen zu verjüngen, auch nach dem sogenannten Kappen starker Äste in der normalen und übrigens unverletzt bleibenden Krone bemerklich. Es tritt dann unter den Schnitt- oder Bruchstellen oft eine reiche Brut von Adventivknospen auf, aus denen dicht gedrängt stehende Zweige hervorgehen können, wie es besonders an den Pappeln, Roßkastanien, Linden rc. sehr gewöhnlich ist.

Verhalten der Nadelhölzer.

Bei den Nadelhölzern tritt nach allen hier genannten Verwundungen meist gar keine Bildung von Adventivknospen und somit keine Erneuerung von Ästen auf; nur selten kommt hier und da ein kümmerliches Zweiglein, aus adventiver Bildung hervorgegangen, zur Entwickelung. Wenn eine Konifere ihren Gipfeltrieb verliert, so ist es einer der schon vorhandenen Seitentriebe nahe der Spitze, der sich geotropisch aufwärts krümmend und kräftiger wachsend allmählich an die Stelle des verlorenen Haupttriebes tritt, wie an entgipfelten Fichten und Tannen oft zu sehen ist. Selten werden wohl auch zwei oder mehr Seitentriebe zugleich in dieser Weise beeinflußt, so daß der Stamm später von einem gewissen Punkte an zweigipfelig erscheint. Schübeler[1]) berichtet von Fichten in Norwegen, welche geköpft worden waren und an denen darnach aus den obersten horizontalen Ästen zwei bis fünf regelmäßige kleine Bäume emporgewachsen waren, sowie von einer andern sehr alten Fichte, an welcher der Stamm durch die Mitte der Krone verfolgt werden konnte und in einer Höhe von ungefähr 2 m über dem Boden 12 Äste aus dem Stamme hervorgewachsen waren, von denen einzelne sich bis 3,1 m in horizontaler Richtung ausstreckten, ehe sie sich nach oben richteten, und die alle wie besondere Fichtenbäume aufgewachsen waren. Wenn der Nadelholzstamm seitliche Hauptäste verliert, so tritt auch meistens keine Reproduktion durch Adventivknospen ein; der Stamm behält die Aststumpfe oder die stehen gebliebenen trockenen Spieße und gleicht die Verzweigungsfehler nicht aus. Eine Ausnahme macht die Lärche, welche gleich einem Laubholz um diese Wundstellen reichliche Knospen entwickelt. Wo man diesem Baume durch sogenanntes Schneideln Hauptäste von unten an wegnimmt, da bedeckt sich der Schaft wieder bürstenförmig mit zahlreichen neuen Trieben, die um die Wundstellen hervorbrechen[2]).

Krüppelbäume der Baumgrenze.

Wenn die Einflüsse, welche die Bäume in dieser Weise verstümmeln, sich fortwährend wiederholen, dann erreichen die Verzweigungsfehler ihren höchsten Grad. So sehen wir die im Vorstehenden bezeichneten Verwundungen in allen ihren Formen und Kombinationen ganz besonders

[1]) Pflanzenwelt Norwegens, pag. 167.

[2]) Vergl. Ratzeburg, Waldverderbnis II, pag. 52.

in den **Krüppelformen der Bäume an der Baumgrenze** auf den Gebirgen und im Hochnorden, desgleichen an den Meeresküsten. Hier sind es vorwiegend die dort herrschenden starken Stürme, welche immerfort Gipfel und Äste brechen und dadurch die für jene Gegenden charakteristischen Baumgestalten hervorbringen. Auch Lawinenstürze können ganz ähnliche Wirkungen haben. Das Nähere über die dadurch zu stande kommenden Pflanzenformen ist im Kapitel über die Wirkungen der Luftbewegungen und der Niederschläge zu finden.

Wundfäule. Sehr groß sind bei diesen ansehnlichen Wunden für den Baum die Gefahren, welche die danach eintretende **Wundfäule** mit sich bringt. Das Theoretische über die letztere ist bereits S. 101 erörtert worden. Besonderes praktisches Interesse haben die Astwunden, weil sie für die Gesundheit und für den technischen Wert des Stammholzes gefährlich sind. Die Folgen dieser Wunden sind daher auch vielfach erörtert worden, besonders von **Göppert**[1]) und von R. **Hartig**[2]), denen die folgenden Angaben entlehnt sind. Nur waren diese Beobachter über die ersten Stadien der Wundfäule im Irrtum, da ihnen die von mir aufgeklärte Bedeutung des Schutzholzes (S. 31) noch unbekannt war, welches sie daher mit den Zersetzungserscheinungen des Pilzes verwechselten. Die gefährlichsten Wunden sind die **Aststumpfe**, wie sie infolge des natürlichen Absterbens der unteren Äste im Hochwalde, infolge von Windbrüchen u. dergl. und bei regelwidriger Ästung, d. h. wenn der Ast nicht dicht am Stamme abgenommen wird, entstehen. Da, wo sie bald nach ihrem Absterben leicht abbrechen, wie bei Kiefern, ist dies noch nicht so gefährlich als da, wo sie lange stehen bleiben, denn dann verhindern sie, daß die vom Stamme oder von der lebend bleibenden Astbasis ausgehende Überwallung sich schließt und bieten also die günstigsten Einzugspforten für atmosphärisches Wasser und saprophyte Pilze dar. Zunächst liegt die schwarzbraune Grenze des abgestorbenen Astholzes an der Basis des Astes. Der Aststumpf wird in der Regel unter Beteiligung von Fäulnispilzen zersetzt, und wenn er endlich durch eigene Schwere oder durch Schneeanhang abfällt, so bricht er aus der Asthöhle heraus. Die Vertiefung, welche er hinterläßt, wird nun nach und nach durch Überwallungswülste geschlossen. Aber das inzwischen in die Höhle eindringende Wasser zersetzt die noch zurückgebliebenen Reste des Astes und verwandelt sie in schwarzbraunen Humus. Diese ausgefaulten **Asthöhlen**, die endlich durch die Überwallung ganz verschlossen und verborgen werden können und mehr oder weniger tief in das Stammholz hineinragen, vergrößern sich zwar nach Verheilen der Wunde

[1]) Über die Folgen äußerer Verletzungen der Bäume, pag. 59—68.

[2]) l. c. pag. 68, 133 ff.

nicht mehr, beeinträchtigen aber jedenfalls die Verwendbarkeit des Holzes. Wenn das Kernholz des Astes der Zersetzung länger widersteht als das Splintholz, wie es z. B. bei der Eiche nicht selten ist, so wird das Abfallen des Aststumpfes verzögert und derselbe wächst tiefer in das Innere des Baumes ein; und auch, wenn das Splintholz völlig verfault ist, so hindert das stehen gebliebene Kernholz den Verschluß der Asthöhle durch Überwallung, und so kommen mit zunehmender Stärke des Stammes die ausgefaulten Hohlräume immer tiefer in den Stamm zu sitzen und vermindern dessen Wert um so mehr. Bei den Nadelhölzern wirkt die starke Verkienung der Aststumpfe der Zersetzung entgegen; nichtsdestoweniger zeigen sie durch ihre mehr oder minder starke Schwarzfärbung die eingetretene Wundfäule an, die sich auch bei der Verarbeitung des Holzes an den sogenannten toten oder ausfallenden Ästen zeigt, indem nach der Verflüchtigung des Terpentins der Ast sich als mürbe und locker erweist.

Die Schnittflächen dicht am Stamme abgesägter stärkerer Äste sind minder gefährlich. Denn durch ein Absägen trockener Äste und Aststumpfe, wenn es glatt an der Oberfläche des Stammes geschieht (Trockenästung), wird die Bildung der eben beschriebenen Asthöhlen bei den Laubhölzern, desgleichen die Entstehung jener ausfallenden Äste bei den Nadelhölzern vermieden. Schwächere trockene Äste fallen, ohne irgend erheblichen Schaden zu hinterlassen, von selbst ab. Jedoch sind bei allen Grünästungen zur Saftzeit sowohl bei Laub- wie bei Nadelhölzern die leicht eintretenden Rindeverletzungen oft Ausgangspunkte von Wundfäule. Wenn nämlich beim Absägen des Astes, besonders am unteren Rande der Wunde, die Rinde ein Stück vom Stamme mit losgelöst wird, so stirbt in dieser Ausdehnung die Cambiumschicht ab. Indem die umgebenden Teile eine neue Holzschicht bilden, entsteht an jenen Stellen ein Zwischenraum zwischen Holz und Rinde, in welchem sich Regenwasser sammelt, Fäulnispilze vegetieren und Zersetzungsprodukte sich bilden, welche in das Holz, besonders durch die Markstrahlen eindringen und dieses mehr oder weniger tief nach innen bräunen. Auf dem radialen Längsschnitt durch den Stamm läuft dann ein brauner Streifen im Holze von der Wunde aus abwärts zwischen der nach der Verwundung gebildeten Splintschicht und dem älteren Holze. Dies erstreckt sich nicht nur in der Ausdehnung, in welcher die Rinde bei der Ästung losgelöst worden war, sondern nach und nach noch tiefer, R. Hartig fand dies bei Eichen zuweilen 3—4 m weit abwärts. Nach demselben Beobachter erfolgt die Bräunung bei Ästung im Frühjahr im Holze des Vorjahres, bei Sommerästung dagegen im Holze desselben Jahres, so daß im letzteren Falle die danach

sich bildende zweite Hälfte des Jahresringes normal bleibt, indem immer nur das im Augenblicke der Verwundung bereits gebildete Holz sich färbt. Man kann danach leicht jede Sommerästung als solche erkennen, jedoch Frühlings- oder Herbstästung nicht unterscheiden. Auch bei Fichten fand R. Hartig nach Sommerästung dieselbe Bräunung, und zwar von der Schnittwunde aus durch den ganzen Baum bis nahe zu den Wurzeln verfolgbar. Sobald durch Überwallung die Schnittflächen geschlossen sind, ist auch für diese Wunden eine weitere Gefahr vorüber. Die Vollendung der Überwallung wird nun aber am meisten verzögert oder ganz vereitelt bei den großen Wunden, die nach Gipfelbruch, nach Verlust sehr starker Äste und also auch bei den Kopfhölzern vorhanden sind. Hier kommt hinzu, daß diese Wundflächen ungefähr horizontal sind, so daß das Regen- und Schneewasser leicht in sie eindringt. Die Folge ist, daß sich die Zersetzung tief in den Stamm herab fortsetzt und rasch verläuft, daß also der Stamm im Innern bis zu beträchtlicher Tiefe ausfault. Es entstehen auf diese Weise die hohlen Baumstämme. Daher werden bekanntlich die Kopfweiden gewöhnlich alle sehr bald hohl; und auch nach Gipfelbruch oder nach dem Kappen starker Äste kommt es oft zu diesem Erfolge. Der Stamm kann soweit ausfaulen, daß nur ein dünner, aus dem jüngeren Holze bestehender Mantel zurückbleibt, der in dem Maße, als er außen durch Cambium neues Holz bildet, von innen her sein altes Holz durch Fäulnis verliert. Die innere Wand des hohlen Baumes ist mit Holz in allen Stadien der Zersetzung bekleidet und seine Höhle mehr oder weniger mit den humifizierten Endprodukten der Wundfäule, einer heller oder dunkler braunen Baumerde, erfüllt. Hohlwerden tritt an Bäumen mit weichem, leicht zersetzbarem Holze, wie Weiden, Pappeln, Linden, eher und häufiger ein, als an Bäumen mit härterem Holze, wie Eichen, Buchen u. dergl. Bei Fichten bleiben oft die verkienten, daher resistenten quirlförmigen Äste bis zu ihrer Basis in der ausgefaulten Höhle des Stammes stehen[1]). An den Stellen, wo die Fäulnis das Holz ganz zerstört hat, sowie da, wo anderweite äußere Stammwunden hinzugetreten sind, wird die Höhle des Baumes nach außen geöffnet; schließlich kann der Stamm sich spalten oder wirklich in einzelne Teile der Länge nach zerrissen werden, die noch immer fortleben können, so lange sie gesundes Holz haben und mit Wurzeln in Verbindung stehen. Mit Hilfe der noch thätigen Cambiumschicht und der Überwallungen führt der hohle Baum oft lange den Kampf zwischen Heilung und Zersetzung fort, der sich immer mehr zu gunsten der letzteren wendet, bis der

---

[1]) Göppert, l. c. pag. 13, Taf. IV. Fig. 2.

nächste starke Sturm den Baum zu Fall bringt. Hierher gehören auch die Folgen, welche das Wegnehmen eines Zwillingsstammes der Fichte (hervorgegangen aus einem doppelten Höhentrieb, wie ihn junge Fichten nicht selten annehmen) für den stehen bleibenden Stamm haben, indem, wenn derselbe nicht früh genug, sondern erst im 20- bis 30jährigen Alter weggenommen wird, seine zurückbleibende Basis sich gerade wie ein Aststummel verhält. Sie stirbt ab, wird durch Fäulnis zerstört und hinterläßt am Fuße des Stammes eine offene Wunde; von dort aus kann sich die Wundfäule auf den Holzkörper des stehenden Stammes verbreiten und kommt erst zum Stillstand, wenn der Stamm die Wunde allseitig umwachsen und eingeschlossen hat.

Überwallung.

Die Heilung der in Rede stehenden Wunden wird, wie erwähnt, durch Überwallung (S. 74) angestrebt. Nur so lange, als ein Ast noch am Leben ist, wächst sein Holzkörper in die Dicke. Da seine Cambiumschicht unmittelbar in diejenige des Stammes sich fortsetzt, so bilden auch seine Holzringe die Fortsetzungen derjenigen des Stammes. Sobald aber die Cambiumschicht des Astes abstirbt, so wird dadurch für diejenige des Stammes ringsum die Astbasis eine Unterbrechung bedingt, die einer Verwundung gleichbedeutend ist; es bildet sich eine Überwallung, die sich über den Aststumpf zu schieben und ihn endlich einzuschließen sucht, wobei sie die Form einer Ellipse annimmt, indem die Holzfasern der Überwallungsschichten schief zur Seite um den Aststumpf ausbiegen. Dabei wird natürlich kein organischer Zusammenhang zwischen der Überwallung und dem toten Aststumpfe hergestellt, auch wenn dieser endlich ganz eingeschlossen werden sollte. Die lange Dauer aber, die bis zu diesem Zeitpunkte vergeht, ist der Grund, daß oft Fäulnis eintritt, bevor ihn die Überwallung eingeschlossen hat; nur bei den Koniferen pflegen die Aststumpfe zu verkienen und dadurch so konserviert zu werden, daß man sie gewöhnlich noch unverändert tief im Holze eingeschlossen findet. Anders ist der Erfolg, wenn die Basis eines abgestorbenen Astes am Leben bleibt und vom Stamme aus seitlich ernährt wird. Nach R. Hartig[1]) ist dies gerade ein sehr häufiger Fall bei abgestorbenen Ästen. Da die Cambiumschicht des Stammes sich unmittelbar in diejenige der lebenden Astbasis fortsetzt, so gehen auch die neuen Holzringe, die der Stamm bildet, auf die Astbasis über, und diese verdickt sich ebenfalls. Hier ist also das Einwachsen des Aststumpfes ein ganz andrer Prozeß; es tritt eine organische Verwachsung zwischen dem Stammholz und dem Aststumpf ein, und der Baum schützt gleichsam dadurch sein Inneres vor toten Ästen.

---

[1]) Zersetzungserscheinungen des Holzes, pag. 68, 133, Taf. XIX, Fig. 2.

Die abgestorbenen Aststumpfe verzögern die Überwallung, weil eine um so längere Zeit bis zum Schlusse derselben erforderlich ist, je weiter vom Stamme entfernt ihre Bruchstelle sich befindet. Dagegen erfolgt die Überwallung am raschesten, wenn der Ast hart am Stamme abgesägt ist, weil hier nur eine in der Oberfläche des Stammes selbst liegende Schnittfläche zu schließen ist. Erwähnenswert ist die Form, in welcher die Überwallung an hohlen Bäumen eintritt. Wenn die Höhle eines solchen Stammes sich nach außen geöffnet hat, der Baumstamm der Länge nach sich spaltet oder vom Sturm in mehrere Teile zerrissen wird, so bildet sich an den Rändern eine Überwallung, durch welche nach und nach auch die Innenseite des hohlen Baumes, wenigstens stellenweise sich berindet und die einzelnen Teile dann gleichsam wie besondere Stämme sich ringsum verdicken. An alten hohlen Linden ist diese Erscheinung bisweilen zu finden. An solchen Überwallungen können sich Adventivknospen oder Adventivwurzeln bilden, letztere besonders durch die Feuchtigkeit des mit Baumerde erfüllten Innern begünstigt. Der Baum treibt in solchem Falle Äste und Wurzeln in die Höhlung seines eigenen Stammes. Die Bildung derartiger Luftwurzeln ist in hohlen Weiden nicht selten; ferner ist sie beobachtet worden an Linden[1]), Birken[2]), Ebereschen[3]), von mir an einer Roßkastanie.

Verlust des Stammes.

5. Stammabhieb. Es wurde schon oben erwähnt, daß der Verlust des Baumstammes über der Wurzel für die Koniferen im allgemeinen tödlich ist, weil diese Bäume unfähig sind, am Stammstumpfe Adventivknospen zu bilden, während diese Fähigkeit bei den Laubbäumen vorhanden ist und hier die Bildung der Stock- oder Wurzelausschläge bedingt. Auf dieser Fähigkeit der Laubhölzer beruht die Niederholzzucht in der Forstwirtschaft, sowie die Erziehung des Bandholzes der Weide, welches aus einem der Stammspitze beraubten Weidenstecklling hervorsproßt. Die Nadelhölzer eignen sich aus dem oben angeführten Grunde hierzu nicht. Eine, wenn auch nur scheinbare Ausnahme von dieser Regel zeigt sich bei dem Überwallen der Tannenstöcke, einer in Tannenbeständen nicht seltenen Erscheinung, die darin besteht, daß die Schnittfläche am Rande ringsum eine Überwallungswulst erzeugt, welche Jahrzehnte lang fortwachsen kann, obgleich keine Stockausschläge mit Blättern vorhanden sind, welche die assimilierten Nahrungsstoffe erzeugen könnten, die zu diesen Neu-

---

[1]) Schacht, Anatomie und Physiologie der Gewächse, II., pag. 84.

[2]) Vergl. die verschiedenen derartigen Bildungen, welche in Norwegen beobachtet worden sind, bei Schübeler, Pflanzenwelt Norwegens, pag. 185.

[3]) Schübeler, l. c. pag. 344.

bildungen erforderlich sind. Göppert[1]) hat die Erklärung hierfür gegeben, indem er fand, daß die Wurzeln solcher überwallter Stöcke stets mit den Wurzeln einer benachbarten noch stehenden Tanne verwachsen sind, daß solche vegetierende Stöcke mit der Fällung dieses zweiten Baumes zu Grunde gehen, sowie, daß an isoliert stehenden Tannenstöcken keine Überwallung sich bildet, woraus hervorgeht, daß der Stock sich nicht selbständig ernährt, sondern seine Nahrung aus dem noch stehenden Baume erhält. Nach Göppert's[2]) weiteren Beobachtungen kommt die Erscheinung auch an Fichten und Lärchen, aber nicht an Kiefern und auch nur dann vor, wenn solche Stämme mit den Wurzeln benachbarter Bäume verwachsen sind, und es vermögen sogar Fichten Weißtannen und umgekehrt Tannen Fichten zu überwallen. Th. Hartig beobachtete jedoch auch an einer Lärche, welche einzeln auf einer Waldblöße stand, eine Überwallung des Stockes; hier war eine Ernährung durch andre Baumwurzeln ausgeschlossen; vielleicht giebt die durch mich bekannt gewordene, allgemein verbreitete Ernährung der Waldbäume durch die Wurzelpilze der Mycorhizen hierfür eine Erklärung. Die Annahme, daß noch soviel Reservematerial in den Wurzeln vorhanden gewesen ist, dürfte kaum zur Erklärung ausreichend sein. Sorauer[3]) will es aus dem Chlorophyllgehalte der jungen Überwallungsränder erklären.

G. Die Entrindungen der Stämme.

Verwundungen der Rinde.

Um zu beurteilen, welche Folgen die verschiedenartigen Formen der Entrindungen der Stämme nach sich ziehen, muß man sich der physiologischen Rolle bewußt sein, welche die Rinde des Baumstammes spielt; auf sie ist S. 26 kurz hingewiesen worden. Besonders zur Erklärung der verschiedenartigen Überwallungserscheinungen, welche sich an den Rändern der Rindenwunden einstellen, ist es nötig, festzuhalten, daß die assimilierten Nährstoffe, welche zu allen Neubildungen, also auch zu diesen Überwallungen gebraucht werden, in den Blättern erzeugt und von dort aus in der Rinde herabgeleitet werden. Daher sehen wir in der Regel nach Ringelwunden, dem sogenannten Ringeln oder dem Ringschnitt, wobei also die Rinde im ganzen Umfange des Stammes bis auf das Holz ringförmig abgenommen wird, nur am oberen Wundrande eine Überwallung sich bilden, welche, da die absteigenden Nährstoffe hier aufgehalten werden, zu einer starken Wulst

---

[1]) Beobachtungen über das Überwallen der Tannenstöcke. Bonn 1842.
[2]) Sitzungsber. d. Gesellsch. naturf. Freunde zu Berlin. 16. April 1872.
[3]) Pflanzenkrankheiten, 2. Aufl. I, pag. 544.

anschwillt, welche sich langsam über die Ringelwunde nach unten schiebt und früher oder später den unteren Wundrand erreichen kann, womit die Verheilung der Wunde ihren Abschluß erreicht hat. Befindet sich die Ringelwunde ziemlich nahe am Boden oder sonst in feuchter Umgebung, so werden auch leicht Adventivwurzeln an diesem Überwallungswulst oder nahe über demselben gebildet. Dagegen ist von derartigen Bildungsthätigkeiten am unteren Wundrande nichts zu bemerken. Es fehlt eben hier an dem Zufluß der dazu erforderlichen assimilierten Nährstoffe; ja der ganze unter der Ringelwunde befindliche Teil des Stammes und das Wurzelsystem, und somit die ganze Pflanze sterben nach einiger Zeit ab, wenn nicht inzwischen die Überwallung den Weg für die absteigenden Nährstoffe wieder hergestellt hat oder der Stamm unter der Wunde durch Knospenbildung wieder einen Neuausschlag bekommen hat. Indessen sind die Bildungsthätigkeiten, welche sich am oberen Rande einer Ringelwunde einstellen, nicht allein die Folgen der Unterbrechung des Nahrungszuflusses. Sie sind analog den Regenerationserscheinungen, welche am unteren Ende abgeschnittener Sprosse überhaupt einzutreten pflegen; denn der abgeringelte Stamm ist zu vergleichen einem isolierten Sprosse, der ja auch an seinem unteren Ende Callus und Adventivwurzeln erzeugt. Anderseits entsprechen die Erscheinungen, welche am unteren Rande der Ringelung eintreten, oft denjenigen, welche ein verschnittener Sproß in der Nähe seiner Schnittfläche zeigt: es werden oft ziemlich bald eine oder einige ruhende Knospen, die etwa in der Nähe sich befinden, geweckt und ersetzen den abgeringelten Trieb durch neue; dann wird auch oft der abgeringelte Trieb wirklich preisgegeben, d. h. die Pflanze verhält sich so, als ob dieser Trieb wirklich abgeschnitten worden wäre, es bildet sich an der Grenze desselben Schutzholz (S. 31); dadurch wird natürlich die Wasserversorgung des über der Ringelung befindlichen Teiles der Pflanze vereitelt und das ist der Grund, warum nicht selten die Ringelungen nach einiger Zeit das Vertrocknen des über der Wunde befindlichen Teiles der Pflanze zur Folge haben. — Werden dünnere Äste einer älteren Holzpflanze geringelt, so sind auch unterhalb der Ringelwunde beblätterte Zweige vorhanden und es sind also die unter der Wunde befindlichen Teile des geringelten Astes nicht von der Zufuhr assimilierter Nahrung abgeschnitten; die Ringelung hat hier nur den Erfolg, daß alles assimilierte Material, welches von den oberhalb der Wunde sitzenden Blättern erzeugt worden ist, auch dort zurückgehalten wird und dem Fruchtansatz des geringelten Astes zugute kommt. Diese Art des **Ringschnittes** wird daher bisweilen

von den Gärtnern angewandt, um mehr und bessere Früchte am Fruchtholze zu erzielen. Auch das Einkerben des Astes, was in einer einseitigen Ringelung besteht, hat für die über der Kerbe stehenden Knospen derartigen Erfolg. Wenn die Entrindung nur einseitig gemacht wird, so tritt, da die Kommunikation der leitenden Gewebe nicht unterbrochen ist, auch keine Atrophie der unteren Teile ein. Ebensowenig ist dies der Fall, wenn Rindenwunden abwechselnd rechts und links übereinander hergestellt werden, oder wenn ein Rindenstreif spiralig den Stamm umlaufend abgenommen wird, weil die Wanderung der Stoffe auch in schiefer Richtung stattfinden kann. Nur findet hier immer eine relativ stärkere Ernährung des oberen Überwallungswulstes statt, worin sich wiederum die Abwärtswanderung der in den Blättern gebildeten assimilierten Stoffe ausspricht. Solche spiralige Rindenwunden kommen auch natürlich vor, nämlich wenn ein Baumstamm von dem holzigen Stamme einer Schlingpflanze (z. B. Lonicera caprifolium) umwunden ist, weil dann infolge des Dickenwachstums des Stammes die Schlingpflanze in die Rinde desselben schließlich einschneidet.

Wir betrachten hier die Entrindungen, welche bei verschiedenen Gelegenheiten den Bäumen zustoßen, im einzelnen.

Fremde Körper.

1. Fremde Körper. Verwundungen der Rinde können durch fremde Körper hervorgebracht werden, welche das Dickenwachstum der Stämme andauernd behindern, indem dieselben sich dann in die Rinde eindrücken und vom Holzkörper überwachsen werden; also wenn Stämme von dem holzigen Stengel einer Schlingpflanze umwunden sind, wenn ein Draht um sie geschlungen war, wenn sie Stakete, eiserne Stäbe u. dergl. berühren. Betrifft letzteres dicke Baumstämme, so werden die fremden Körper allmählich durch Überwallung wirklich eingeschlossen; so hat man im Holze gefunden[1]): Früchte (Eicheln, Haselnüsse), Steine (diese besonders oft in das Holz der Wurzeln eingepreßt), Münzen, Hörner, Knochen, Kreuze, Kettenglieder, Teile von Gartenzäunen 2c. Jüngere Stämmchen und Äste können vermöge ihrer Biegsamkeit nachgeben; aber häufig werden hier durch die vom Winde veranlaßte fortwährende Reibung an dem fremden Körper lange offen bleibende Wundstellen erzeugt.

Zeichen und Inschriften.

2. Zeichen und Inschriften. Diese durch Menschenhand gemachten Einschnitte, welche in die Rinde der Baumstämme bis auf den Splint gemacht werden, haben meist keine besonders schädlichen

---

[1]) Göppert, Folgen äußerer Verletzungen, pag. 3, und Moquin-Tandon, Pflanzen-Teratologie, pag. 273.

Folgen, da sie nach einiger Zeit durch Überwallung bedeckt werden[1]), wobei sich diese oft in die Vertiefungen des Einschnittes einsenkt. Sie werden beim Zersägen solcher Stämme nicht selten unter mehr als hundert Jahresringen wohl erhalten vorgefunden, und die sich ablösende Überwallung zeigt dann oft die Figur des Einschnittes in erhabener Form. Auf der Oberfläche der Rinde solcher überwallter Stellen bleibt die Spur des Einschnittes auch noch lange Zeit sichtbar, doch wird sie wegen des zunehmenden Dickenwachstums hier fort und fort in die Breite gezogen und dadurch unkenntlicher; bei glattrindigen Stämmen, wie Buchen, erhält sie sich länger, als bei Bäumen mit starker Borkebildung.

Harzen.

3. Das Harzen. Verschiedenartige Verwundungen werden zum Zwecke der Harzgewinnung an mehreren Koniferen vorgenommen. Aus der Fichte wird im mittleren Deutschland, besonders in Thüringen, Harz gewonnen durch sogenanntes Harzscharren. Man nimmt in der Brusthöhe des Baumes an drei oder vier Seiten des Stammes mittelst eines hakenförmigen und geschärften Scharreisens, etwa 2 Finger breite und ca. 2 m lange vertikale Streifen der Rinde bis auf das Holz fort. In diesen Rinnen (Lachten, Lagten oder Laachen) sammelt sich der aus der Wunde hervorquellende Terpentin. Derselbe stammt aus den bei der Fichte bis ins hohe Alter besonders reichlich vorhandenen horizontalen Harzkanälen, welche in den Markstrahlen des Holzes und deren Fortsetzungen in der Rinde liegen und eben bei jener Verwundung zahlreich geöffnet werden[2]). Der an der Luft durch Oxydation zu Harz erhärtende Terpentin wird gewöhnlich schon im ersten Jahre mit dem Scharreisen herausgekratzt und dabei die Lachte breiter gemacht, wodurch der inzwischen entstandene Überwallungswulst abgeschnitten, mithin neue Harzkanäle geöffnet werden und der Harzausfluß im Gange erhalten wird. Das Harzscharren wird auf diese Weise alle zwei Jahre wiederholt und gewöhnlich lange Zeit fortgesetzt. Nach den Erfahrungen der Forstleute[3]) soll das Harzen den mittelwüchsigen und älteren Fichten unschädlich sein, wenn man nur ein oder zwei Lachten macht; vermehrt man die Zahl derselben, so werden die Bäume kränklich, zeigen schlechten Zuwachs und Bräunung

---

[1]) Vergl. Göppert, Über Inschriften und Zeichen in lebenden Bäumen. Breslau 1869, und Ueber die Folgen äußerer Verletzungen der Bäume. Breslau 1879, pag. 1—3.

[2]) v. Mohl, über die Gewinnung des venetianischen Terpentins. Bot. Zeitg. 1859, pag. 342. Vergl. auch Schacht, der Baum, pag. 334.

[3]) Meyen, Pflanzenpathologie, pag. 238, und R. Hartig, Zersetzungserscheinungen des Holzes, pag. 73.

und Zersetzung des Holzes in der Nähe der Wunden; Borkenkäfer, Holzwespen und andre Insekten greifen solche Stämme besonders gern an. Junge Bäume sind noch empfindlicher. Die Lachten werden, da die umgebenden Teile im Dickenwachstum fortfahren, mit den Jahren immer tiefer, und der zuerst freigelegte Holzstreifen trocknet allmählich aus und von ihm nehmen dann die Zersetzungserscheinungen ihren Anfang. Das Holz solcher Bäume, die viele Jahre lang geharzt worden sind, wird am ganzen unteren Stammende gebräunt und zersetzt, und von dort kann sich die Holzverderbnis sogar noch beträchtlich weiter in den Stamm hinaufziehen. Als Bauholz sind daher geharzte Fichtenstämme unbrauchbar und können nur zu Brenn- und Kohlenholz verwendet werden. An einer seit 39 Jahren geharzten Fichte fand R. Hartig[1]) den ganzen Holzkörper außer den jüngeren Holzlagen am unteren Stammende gebräunt und stark zersetzt, und über den an den vier Seiten des Stammes angebrachten Lachten zog sich die Bräunung nach aufwärts 12 m hoch empor. Die Verschlechterung des Holzes durch das Harzen erhellt am deutlichsten aus der Thatsache, daß im Thüringer Wald in vielen Beständen die Nutzholzausbeute, die in nicht geharzten Beständen mindestens 70 Prozent beträgt, infolge der langjährigen Harznutzung auf 20—30 Prozent vermindert ist.

Von der Weißtanne wird der Straßburger Terpentin, sowie in Amerika von Abies balsamifera der kanadische Balsam, und zwar aus den Harzbeulen, welches erweiterte Harzkanäle in der Rinde sind, gewonnen, indem der Terpentin nur aus den einzeln geöffneten Harzbeulen in Gefäßen, welche oben zugespitzt sind, aufgefangen wird[2]); die Harzarmut des Holzes dieser Bäume schließt eine andere Harzgewinnung aus. Bei vielen andern Pinus-Arten ist aber der Terpentingehalt vorherrschend im Holze und es erklären sich daraus die andern Methoden, nach denen hier geharzt wird. Nach den Beschreibungen von Duhamel[3]) stimmen die Methoden der Harzgewinnung aus verschiedenen Arten von Pinus in Kanada, in der Provence, wo namentlich der Terpentin von Bordeaux aus Pinus Pinaster gewonnen wird, und in Österreich aus Pinus nigricans, darin überein, daß in die äußersten Holzschichten eine höchstens 8 cm tiefe Kerbe (Wanne) eingehauen wird, wobei der Terpentin aus den geöffneten Harzkanälen des Splintes von der oberen Wundfläche aus hervorfließt, und daß man von Zeit zu Zeit diese Wundfläche durch Wegnahme einer dünnen Holzschicht wieder

---

[1]) l. c. pag. 73.

[2]) Vergl. die bei v. Mohl, l. c. pag. 341 mitgeteilte Beschreibung von Duhamel.

[3]) v. Mohl, l. c. pag. 343.

erneuert, um den Harzausfluß von neuem hervorzurufen. Wenn große Mengen von Harz abgezapft werden, so soll dies auch hier eine bedeutende Verschlechterung des Holzes insofern zur Folge haben, als das zur Tränkung des Kernholzes bestimmte Harz dem Baume entzogen wird; doch soll durch eine mäßige Harzbenutzung das Kernholz nicht notwendig arm an Harz werden. Bei der Lärche endlich, wo der Terpentin hauptsächlich als Infiltration des Kernholzes und ausgeschwitzt in Spalten des Holzes auftritt, beruht die Gewinnung des venetianischen Terpentins nach Duhamel und anderen Autoren, sowie nach v. Mohl darauf, daß man in geringer Höhe über dem Boden Bohrlöcher bis gegen die Mitte des Baumstammes ungefähr von der Dicke von 8 cm anbringt, in welche man dann hölzerne Rinnen steckt, um den ausfließenden Terpentin aufzufangen, oder die man mit einem Zapfen verschließt, um sie auszuleeren, wenn sie sich mit Harz gefüllt haben. Dieses sammelt sich in ihnen immer von neuem an, wenn sie wieder mit dem Zapfen verschlossen werden. Im südlichen Tirol macht man in jeden Stamm nur ein Bohrloch, und das scheint für die Erhaltung der Bäume weniger ungünstig zu sein und die Güte des Holzes weniger zu schädigen. Einen wesentlichen Schaden für die Bäume will man nicht bemerkt haben, sobald nur das Bohrloch immer verschlossen gehalten wird, offenbar weil dadurch den Zersetzungen des Holzes mehr vorgebeugt wird. Aber im Thale Saint Martin in Piemont werden mehrere Löcher bis in 3—4 m Höhe angebracht, was zwar eine ungleich größere Harzausbeute liefert, aber zur Folge hat, daß die angebohrten Stämme nicht als Bauholz taugen und gewöhnlich nur zum Brennen und Verkohlen benutzt werden.

Quetschwunden.

4. Quetschwunden. Bei diesen Wunden bleibt das durch die Quetschung getötete Rindengewebe auf der Wunde haften und bringt daher leicht Zersetzungserscheinungen hervor, weshalb diese Wunden schwer heilen und oft sich verschlimmern. Solche werden erzeugt durch das sogenannte Anprällen, d. h. das mit dem Axtrücken ausgeführte heftige Anschlagen an den Stamm, um das Herabfallen von Raupen zu bewirken. Solche Wunden sah R. Hartig[1]) noch nach 30 Jahren in unveränderter Größe und meist mit hinzugetretener Wundfäule. Noch größere können durch den Baumschlag entstehen, wenn der stürzende Baum an einem Nachbarstamme herabrutscht und dabei dessen Rinde quetscht. Auch der Hagel bringt an Stämmen und Ästen Quetschwunden hervor, deren Größe derjenigen der Hagelkörner entsprechen.

---

[1]) l. c. II. pag. 72.

Entrindungen durch Menschenhand ꝛc.

5. Schälen, Fegen und Nagen. Als Schälen bezeichnet man im allgemeinen alle Verwundungen von Baumstämmen oder Baumwurzeln, wobei größere zusammenhängende Stücken der Rinde von dem Splinte abgerissen werden. Solches kann erstens durch die Hand des Menschen, aus Unvorsichtigkeit oder Mutwillen geschehen und zwar besonders leicht zur Frühjahrszeit, wo sich wegen des Saftreichtums der Cambiumschicht die Rinde mit Leichtigkeit löst. Bei Schälwunden bleiben gewöhnlich Rindenlappen am Stamme hängen. Diese vertrocknen dann meistens bis an die Grenze der unverletzten Rinde. Bisweilen aber ist, besonders an Linden, beobachtet worden, daß, wenn der Rindenlappen wenigstens oben oder unten noch mit der gesunden Rinde im Zusammenhang steht, derselbe auf der Innenseite Holz bildet, welches sich mit einem neuen Rindenüberzuge bedeckt. Wenn die abgelöste Rinde oben und unten noch in Verbindung mit dem Stamme steht, so bildet sich durch diesen berindeten Holzüberzug ein doppelter Stamm, oder wenn dabei die Rinde ringsum gelöst ist, gleichsam ein Futteral um das alte dann oft abgestorbene Holz mit einem wirklichen Zwischenraum zwischen beiden[1]). Auch bei Grünästung, wenn sie zur Saftzeit ausgeführt wird, wird die Rinde wegen ihrer um diese Zeit leichten Ablösbarkeit oft in Streifen mit abgerissen oder losgelöst, wenn nicht vorher von unten her in den Ast eingehauen wird, um das Abreißen der Rinde zu verhüten. Schälwunden werden auch an den unteren Teilen der Stämme und an den flachliegenden Wurzeln erzeugt beim Holzrücken in denjenigen Wäldern, welche an Berghängen liegen, indem das Langholz, wenn es an die Wege gerückt wird, die genannten Teile streift und vielfach quetscht und entrindet. Gleicher Art sind bei den Wurzeln die Verwundungen durch Wagenräder und durch die Tritte der Tiere an Wegen, auf Viehtriften und Viehlagerplätzen. Nach R. Hartig[2]) tritt, wenn solche Wurzeln ganz frei liegen, nur auf kurze Erstreckung unter der Wunde Bräunung des Holzes ein, wenn sie aber von Humus oder Moos bedeckt sind, infolge der Feuchtigkeit eine beschleunigte Fäulnis unter schwarzbrauner Färbung, auch oft Ansiedelung holzzerstörender Pilze.

Schälen, vom Wild verursacht.

Zweitens werden solche Entrindungen vielfach durch das Wild hervorgebracht. Hierher gehört das Schälen, welches die Hirsche ausführen, d. i. die mittelst der Schneidezähne zum Zwecke des Äsens im Winter und Frühjahr bewirkte Entfernung eines Rindenlappens,

---

[1]) Ratzeburg, Waldverderbnis II, pag. 337.

[2]) Zersetzungserscheinungen des Holzes. Berlin 1878, pag. 73.

welcher zuerst unten gelöst und dann in die Höhe gezogen wird. Das Fegen der Hirsche und Rehböcke, wobei dieselben an jungen Stämmen mit dem Gehörn auf- und niederfahren, um die Hautbekleidung desselben abzureiben, ist auch eine Entrindung, wobei aber Überreste der halb gelösten Rinde an den Rändern der unverletzten stehen bleiben in Form von Lappen oder kleineren trockenen gekräuselten Fetzen. Hinsichtlich dieser Verwundungen sind wir hauptsächlich auf die folgenden Angaben Ratzeburg's[1]) angewiesen. Das Schälen geschieht oft in umfassender Weise, so daß in manchen Beständen alle Stämme davon betroffen werden. Das Wild schält nicht in allen Gegenden; aber dort, wo es einmal begonnen hat (an gefällten Stämmen soll es dies zuerst probieren), wird es ihm zur Gewohnheit. Die liebste Holzart ist dem Wild die Fichte, die im 25- bis 50jährigen Alter angegriffen wird; ebenso die Weißtanne; Kiefern werden wegen ihrer zeitig sich entwickelnden Borke mit 3—5, Lärchen meist mit 12 bis 14 Jahren geschält. Auch Laubhölzer, wie Esche und Eiche werden angegangen, von letzterer peitschen- bis armstarke Stämme. Durch das Fegen wird gewöhnlich die Rinde ringsum und auf eine lange Strecke beschädigt, während das Schälen, welches in Kopf- und Brusthöhe geschieht, meist einseitig ist; doch kommen auch doppelte und dreifache Schälwunden auf gleicher Höhe und mitunter auch Ringschälung vor. Im Winter, wo die Rinde sich nicht leicht löst, sind die Wunden nicht so groß wie beim Schälen im Frühling und Sommer, wo das Wild die Rinde in großen Lappen ablöst. Oft wiederholt sich das Schälen in den nächsten Jahren, dann geschieht es natürlich



Fig. 22.
Fichtenstamm mit Ueberwallung von Schälwunden, im Querschnitt, verkleinert. Aus der Lage der drei Schälwunden und aus den Jahresringen der Ueberwallungen ist ersichtlich, daß das Wild den Stamm dreimal in mehrjährigen Zwischenräumen, das erste Mal im halben Umfange geschält hatte. Ratzeburg.

---

[1]) l. c. I, pag. 201, 267. Taf. 20—22, 31—32 und II, pag. 33, 73, 168, 284. Taf. 41.

der ersten Schälstelle, die noch nicht geheilt ist, gegenüber, darauf im rechten Winkel zu den beiden vorhergehenden. Bei den Nadelhölzern ist die Schälwunde im ersten Jahr mit Harz bedeckt, wie überzuckert; später bilden sich von den Rändern aus die Überwallungen, welche die Wundfläche nach einiger Zeit schließen können. Bisweilen beginnt an dem bloßliegenden Holz der Wunde Fäulnis, die jedoch durch den Harzüberzug meist verhütet wird. Aber auch die Faulstellen können überwallt werden. Nach R. Hartig[1]) tritt an den Schälwunden der Fichte eine Bräunung des Holzes, welches zur Zeit des Schälens vorhanden war, ein, die mehr oder weniger tief ins Innere eindringt und sich nach oben und nach unten einen oder einige Meter weit fortsetzt, während das nachher gebildete Holz hell ist. Noch im späteren Alter erkennt man daher am Querschnitt des Stammes, zu welchen Zeiten Schälen stattgefunden hat; eine Bräunung an der Peripherie des Kernes und die Form der darüber gehenden Ueberwallung zeigen an, wie groß die Wunde gewesen ist (vergl. Fig. 22 und 23). Fand das Schälen im Winter statt, so ist der letztgebildete Jahresring vollständig; trat es im Sommer ein, so ist derselbe an der geschälten Stelle schmäler geblieben. Bei den Nadelhölzern, besonders bei Kiefer, Fichte und Tanne, findet nach Ratzeburg im Holze der Wunden eine abnorme Harzbildung statt: das Holz der über die Wundfläche sich lagernden Überwallung verkient allmählich, bisweilen auch unter Auftreten großer Harzgänge, und selbst im letzten Ringe des Kernes, der vor der Verwundung normal gebildet worden war, erscheint Harz in den Markstrahl- und Holzzellen. Einseitige Schälwunden heilen meist durch Überwallung und haben dann für den Baum keine weitere Gefahr. Ungünstig aber ist die Ringschälung: es treten zwar oft starke Überwallungen am oberen Rande der Wunde ein, aber die Verbindung mit dem unteren Rande



Fig. 23.
Kieferstamm mit Ueberwallung einer Schälwunde, im Querschnitt, verkleinert. Der im dritten Lebensjahre fast in $^3/_4$ der ganzen Peripherie geschälte Stamm ist trotzdem nach 9 Jahren durch Überwallung vollständig geheilt, die jüngste Holzschicht wieder einen zusammenhängenden Jahresring bildend. Nach Ratzeburg.

[1]) l. c. pag. 71.

ist nicht herzustellen, und der Wipfel stirbt dann ab. Die Neigung der Lärche, Adventivknospen zu bilden, zeigt sich auch bei der Überwallung ihrer Schälstellen; an den vielfach gewundenen und genarbten Überwallungsmassen bilden sich oft nahe der Schlußstelle die Maserknollen, die aus Adventivknospen hervorzugehen scheinen.

Folgen des Wildschälens.

An Schälwunden, welche durch Wild verursacht werden, hat R. Hartig[1]) bei Fichten, abgesehen von einigen Fällen, in denen Parasiten (z. B. Polyporus vaparorius) sich angesiedelt hatten, nur eine von den Schälstellen ausgehende allerdings intensive Bräunung, aber keine merkliche Veränderung der technischen Eigenschaften des Holzes eintreten sehen. Die Bräunung erstreckt sich mehr oder weniger tief nach innen, und auch eine gewisse Strecke nach oben und unten im Stamme und giebt sich auf dem Querschnitte in Form von braunen Flecken oder Streifen zu erkennen. Selbst an einer im 25. Lebensjahre stark geschälten 115jährigen Fichte fand R. Hartig nur den 25jährigen Kern gebräunt bis in eine Entfernung von 3 1/2 m, während alles später gebildete Holz frei von Bräunung war. Übereinstimmend damit sind auch Ratzeburg's[2]) Erfahrungen über die Folgen des Wildschälens an der Fichte; er beobachtete, daß wenn der schützende Harzüberzug durch Harzsammler von der Wundfläche abgekratzt wird, die Rotfäule stärker sich zeigt, als wenn dies nicht geschieht. An der Kiefer hat nach den übereinstimmenden Angaben der genannten beiden Schriftsteller wegen des Harzreichtums das Wildschälen keine eigentliche Wundfäule, nur geringe Bräunung des Schälkernes zur Folge. Nach R. Hartig[3]) verhalten sich die durch das Holzrücken entstehenden Schälwunden hinsichtlich der ihnen folgenden Zersetzungserscheinungen den eben genannten gleich, dagegen sind die durch Baumschlag und Anprällen entstehenden eigentlichen Quetschwunden viel gefährlicher, weil bei ihnen die gequetschte und absterbende Rinde auf der Wunde und mit der intakten Rinde im Zusammenhange bleibt und deshalb die letztere an der Bildung eines Überwallungswulstes verhindert. Es bleiben infolge dessen diese Wunden nicht nur ohne Überwallung oder überwallen doch erst spät, sondern es dringt auch durch die vertrocknete und zerreißende Rinde Wasser zwischen diese und das Holz ein und veranlaßt Zersetzungen, weshalb die Wundfäule unter Quetschwunden weiter sich zu verbreiten pflegt als an offenen Wunden. Diese und ähnliche Verwundungen können, wenn sie in großer Ausdehnung

---

[1]) l. c. pag. 71.

[2]) Waldverderbnis I, pag. 267.

[3]) l. c. pag. 72.

oder in großer Zahl am unteren Stammende eines Baumes vorkommen, zu einem Ausfaulen und Hohlwerden des Stammes von unten aus führen, wie es an vielen alten Linden zu sehen ist, die an verkehrsreichen Wegen stehen, wo sie beständig solchen Verletzungen ausgesetzt sind.

Nagen.

Unter Nagen versteht man die durch Nagetiere hervorgebrachte Entrindung der Baumstämme, die besonders im Winter bei Schnee stattfindet. Hasen und Kaninchen benagen in dieser Zeit Wald-, Obst- und Gartenbäume. Noch schädlicher aber können an Forstgehölzen die Mäuse werden. Mäusenagen findet besonders am Laubholz, wie Buche, Birke, Esche rc., statt und zwar am Grunde des Stammes, selten höher als 30 cm und meist rings herum. Vorzugsweise gehen diese Tiere jüngere Hölzer an; doch hat man während der Mäuseplage im Herbst 1878 in den Gegenden der Saale beobachtet, daß die Mäuse sogar die Borke alter Bäume angegriffen haben. Die Rinde jüngerer Stämme wird dabei zum größten Teil abgenagt, die Zahnspuren dringen bis ans Holz. Bisweilen entziehen sich die Nagestellen im hohen Grase dem Auge. Die Folge ist entweder ein rasches Absterben des Stammes über der Wunde, wobei sein Laub im Sommer gelb wird. Dafür bilden sich unter der Wunde Stockausschläge, die den Stamm zu ersetzen suchen, was immer um so kräftiger und schneller geschieht, je vollständiger der Oberstamm abgestorben ist, daher auch das Abschneiden desselben ratsam ist. Oft aber erhält sich auch der Stamm über der Wunde am Leben; er bildet dann am oberen Wundrande einen Überwallungswulst und nicht selten regeneriert sich die Rinde auf dem entblößten Holze stellenweise durch inselartige Granulationen (wie wir sie bei der Wundenheilung (S. 70) kennen gelernt haben). Aber auch dann tritt unter der Wunde Stockausschlag auf; der Oberstamm kränkelt dann wohl Jahre lang unter Bildung geringeren und bleicheren Laubes und geht endlich zu Grunde, seltener bringt er es selbst zu einem neuen Wipfel[1]). An einer tief am Grunde durch Mäuse geringelten Birke beobachtete Ratzeburg Wurzeln, die infolge der Feuchtigkeit in dem hohen Grase aus dem Überwallungswulst am oberen Wundrande entstanden waren und dem Boden zustrebten, was also an gleiche Resultate bei den Ringelungsversuchen erinnert. Sehr dünne Stämmchen können durch das Nagen vollständig abgeschnitten werden.

Auch durch Eichhörnchen und durch Hornissen wird die Rinde in verschiedener Ausdehnung geschält.

---

[1]) Vergl. Ratzeburg l. c. II, pag. 104 ff. 228, 285, Taf. 44.

Insektenfraß in der Rinde.

6. Insektenfraß in der Rinde. Eine Zerstörung der Baumrinde findet natürlich auch statt, wenn kleinere Tiere, wie Insekten, in derselben Fraßgänge anlegen, wie es besonders die Borkenkäfer thun. Da jedoch hierbei die Rinde im ganzen nicht mechanisch gestört wird, sondern infolge des Aufenthaltes der parasitischen Insekten abstirbt, so schließen wir diese Beschädigungen passender von den eigentlichen Wunden aus und behandeln sie unter den Pflanzenkrankheiten, welche durch schädliche Insekten hervorgerufen werden.

H. Die Entlaubung.

Verlust der Blätter.

Von den vielen Gelegenheiten, bei welchen die Pflanzen abnormer Weise ihre Blätter verlieren, kommen an dieser Stelle nur diejenigen in Betracht, wo das auf mechanische Weise, in Form einer Verwundung geschieht, nicht diejenigen, wo eigentümliche Krankheitsprozesse die Blätter verderben.

Auf mechanische Weise gehen die Blätter den Pflanzen bisweilen durch Menschenhand verloren, wie bei dem Laubstreifen, um das Laub zum Füttern des Viehes zu verwenden, oder beim Einsammeln der Maulbeerblätter zur Fütterung der Seidenraupen, oder der Blätter des Theestrauches ꝛc.; auch das Abblatten der Rüben ꝛc. gehört hierher. Ferner fallen die Blätter vieler Pflanzen dem Nahrungsbedürfnis einer großen Anzahl von Tieren zum Opfer, sowohl höherer Tiere, als besonders zahlreicher Insekten, wobei der Blattkörper bald vollständig aufgezehrt, bald nur in verschiedenem Grade verwundet wird. Endlich können heftige Stürme, starke Regengüsse und vor allen Hagelschläge die Blätter abreißen oder verwunden in jeweils verschiedener Form, die in den späteren Kapiteln, wo von diesen Einflüssen speziell die Rede ist, genauer angegeben ist. Die allgemeinen physiologischen Folgen, welche der Verlust der Blätter für die Pflanze hat, sind S. 27 erwähnt worden. Über die Reproduktionen, welche die Pflanze nach Entlaubung zum Ersatze der Blätter einleitet, ist S. 100 zu vergleichen. Bei den Holzpflanzen findet der Wiederausschlag entweder noch in demselben Jahre oder erst im Nachjahre statt, wobei hauptsächlich die Zeit der Entlaubung, aber auch die Baumspezies entscheidend sind. Im Nachjahre findet der Wiederausschlag besonders dann statt, wenn die Entlaubung nicht gar zu frühzeitig im Sommer erfolgt ist, also wenn die Blätter schon einen Vorrat von assimilierten Nährstoffen gebildet und in den Zweig zurückgeführt und wenn die für das nächste Jahr bestimmten Knospen schon eine gewisse Entwickelung erreicht haben. Die Thätigkeit der Pflanze beschränkt sich dann darauf, diese Teile noch notdürftig zur Reife zu bringen, um

die Entwickelungsfähigkeit derselben für das nächste Jahr zu sichern. Doch haben alle solche Bäume die Neigung, im Spätsommer bei günstigen Witterungsverhältnissen einige ihrer Knospen zu treiben; solche Triebe können aber im Herbst nicht mehr so weit ausreifen, um dem Winter zu trotzen. Hat dagegen die Entlaubung zeitig im Frühjahre stattgefunden, so belaubt sich der Baum in der oben beschriebenen Weise zum zweitenmale in demselben Sommer. Relativ gut setzt z. B. die Eiche nach Maikäfer- oder Eichenwicklerfraß ihren Wiederausschlag an, während bei der Buche und Linde die proleptische Belaubung nach Insektenfraß sehr dürftig ausfällt, indem nur kurze Triebe mit einem Blatte oder wenigen Blättern gebildet werden[1]).

J. Blattwunden.

Veranlassung zur Verwundung der Blätter.

Zu Verwundungen des Blattkörpers geben namentlich viele kleinere Insekten Veranlassung, die je nach ihrer Art in verschiedener Weise die Blätter verletzen. Auch der Hagel bringt allerhand Verwundungen und zwar gröberer Art an den Blättern hervor. Auch können die Pflanzen gegenseitig sich Verwundungen an ihren Blättern zufügen. Ich beobachtete einen solchen Fall an einem Roggenfelde, in welchem allgemein die Blätter durch viele kleine, helle, kranke Flecken auffielen. Letztere zeigten ausnahmslos auf ihrer Mitte eine kleine Wunde, an welcher die Epidermis durchstochen und das Mesophyll verletzt war. In den meisten Wunden zeigte das Mikroskop einen fremden Körper, der bei allen gleich war: ein lang kegelförmiges, sehr spitzes, starres, farbloses, dornenähnliches Körperchen; es waren abgebrochene starre Haarzellen der Grannen der Roggenähren, die bei der Bewegung des Getreides im Winde sich in die Blätter eingespießt hatten, dabei meist abgebrochen und in der Wunde stecken geblieben waren. Stürmisches, regnerisches Wetter hatte kurz vorher geherrscht.

Tödliche Blattwunden.

Tödlich für die Blätter sind selbstverständlich solche Verwundungen, welche den organischen Zusammenhang derselben mit der Pflanze erheblich alterieren, wenn also der Blattgrund oder der Blattstiel so weit angefressen ist, daß die Kommunikation der Fibrovasalstränge gestört ist. Das Blatt welkt oder verdorrt dann bald. Ist aber dieser Zusammenhang intakt, so kann das Blatt dann meistens einen großen Teil seiner Masse durch Verwundung verlieren, ohne seine Lebensfähigkeit einzubüßen, und man kann vielleicht im allgemeinen sagen, daß erst der Verlust von mehr als der Hälfte der Blattmasse tödlich wird.

---

[1]) Ratzeburg, Waldverderbnis II, pag. 190—193 und 340.

Es kommt jedoch dabei auf die Gewebe des Blattes an. Das eben Gesagte darf wohl gelten, wenn dem Blatte ganze Stücken weggeschnitten werden und das Bleibende übrigens nicht verletzt wird. Wenn aber z. B. von dem Blatte einer Dikotyledone mit starken Rippen und Nerven das ganze Mesophyll, welches an Masse nur den kleineren Teil ausmacht, z. B. durch Blattkäfer aufgefressen wird, welche die Blätter oft in dieser Weise skelettieren, dann funktioniert das Blatt nicht mehr und wir sehen das stehengebliebene Rippen- und Nervengerüst bald vertrocknen, denn eine Regeneration des Mesophylls ist nicht möglich.

Verstümmelungen und Stichwunden der Blätter.

Dagegen vertragen die Blätter starke Verstümmelungen, bei denen ganze Stücke von dem sonst unversehrten Blattkörper abgeschnitten werden oder die Blätter von großen Löchern durchlöchert werden. Ein Wiederzusammenwachsen der zerrissenen Teile, eine Regeneration des verlorenen Stückes, ein Verwachsen eines Loches findet nicht statt, etwa mit Ausnahme der kleinsten Stichstellen, wie wir bei der Wundenheilung (S. 67) gesehen haben. Alle diese Unterbrechungen, selbst diejenigen der Mittelrippe, schaden nichts; die Nahrungszufuhr zu den einzelnen Teilen kann dann noch durch die zusammenhängende Blattmasse und durch die in derselben sich verbreitenden Rippen und Nerven stattfinden. Noch weniger können schaden Stichwunden quer durch das Blatt, wie man sie mittelst Nadeln erzeugen kann oder wie sie manche Insekten, z. B. Rüsselkäfer, hervorbringen und mit denen die Blätter oft reichlich bedeckt sind, ohne dadurch getötet zu werden. Nur wird selbstverständlich die Funktion solcher Blätter, besonders was die assimilierende Thätigkeit anlangt, im Verhältnis zu der verloren gegangenen Mesophyllmasse Abbruch erleiden.

Verkrüppelung junger Blätter infolge von Verwundung.

Etwas anders ist der Erfolg der eben genannten Verwundungen an jugendlichen, noch wachsenden Blättern. Das durch die Verletzung gestörte Gewebe des Wundrandes kann sich nicht an der Flächenausdehnung beteiligen, welche die entfernteren umliegenden Partien infolge ihres Wachstums erfahren. Die Folge ist, daß um die Wunde unregelmäßige Faltungen sich bilden oder das ganze Blatt in seiner normalen Formbildung mehr oder weniger behindert wird, daß also überhaupt Verkrüppelungen des Blattes eintreten.

Verlust einzelner Gewebe des Blattes.

Außer den hier genannten Blattwunden, welche quer durch die ganze Blattmasse hindurchgreifen, kommen auch solche vor, bei denen nur einzelne Gewebe einer Blattstelle verletzt werden. Es handelt sich hier besonders um die Epidermis einerseits und das Mesophyll anderseits. Ich habe an Blättern von Leucojum vernum von der Unterseite Streifen der Epidermis ohne sonstige Verletzung abgezogen und

keinen schädlichen Einfluß danach bemerkt; sogar das entblößte Mesophyll der Wunde, deren Zellen dabei nicht verletzt werden, blieb unverändert grün und lebendig. Wo aber die Epidermis fester mit dem unterliegenden Mesophyll verwachsen ist, läßt sich erstere kaum ohne Verletzung der Zellen des letzteren entfernen, und dieses zeigt sich dann an der Wunde abgestorben und gebräunt. So wird oft die obere Blattseite von gewissen Insekten stellenweise angenagt oder abgeschabt, allerdings mehr oder minder unter Anfressen des Mesophylls selbst, und zeigt danach entsprechende gebräunte und abgestorbene Stellen, die gewöhnlich quer durch das Blatt hindurchgehen. Anderseits kann auch eine Aushöhlung des Blattes stattfinden, indem allein das Mesophyll unter Stehenbleiben der beiderseitigen Epidermen aufgezehrt wird. Dies thun die blattminierenden Insekten, welche auf diese Weise die Blätter bald auf größere zusammenhängende Strecken beutelartig aushöhlen, bald nur zierlich gewundene Gänge in ihnen fressen. Über diesen Minen bleibt die unversehrte Epidermis erhalten, aber dieselbe vertrocknet und diese Stellen erscheinen daher tot und bleich, weil das grüne Mesophyll fehlt. Solche Wunden sind selbstverständlich gleichbedeutend mit einer vollständigen Durchlöcherung der Blattmasse.

K. Verwundung der Blüten.

Verwundung der Blüten.

Auch Blüten werden namentlich von gewissen Insekten mechanisch zerstört. Sind Blütenknospen inwendig ausgefressen, so ist natürlich eine Vereitelung der Befruchtung, also ein Unterbleiben der Frucht- und Samenbildung die Folge, weil die Sexualorgane zerstört sind. Die weitere Entwickelung der Blüten kann aber auch schon dadurch unterdrückt werden, daß im Knospenzustande nur die zum äußeren Schutze der Blütenteile dienenden festeren Umhüllungen, wie die Kelchblätter oder die Hüllblätter köpfchenförmiger Blütenstände, die Deckblätter mancher andrer Inflorescenzen, durch Insektenfraß zerstört werden, wie z. B. beim Fraße des Glanzkäfers. Es giebt auch Insekten, welche aus den aufgeblühten Blüten nur die inneren Teile herausfressen, z. B. nur die Blumenblätter und Staubgefäße. Solche Blüten sind natürlich unfähig, diejenige Funktion auszuüben, welchen die verloren gegangenen Teile vorstehen; und so verstümmelte Blüten bringen daher gewöhnlich keine Früchte.

L. Verwundung der Früchte.

Verwundung der Früchte.

Hagel, Fraß von Vögeln, von Schnecken und vielen Insekten bringen an den Früchten, besonders an großen und saftigen, Verwundungen hervor; doch kommt auch das spontane Aufspringen des Parenchyms

(s. oben S. 113) in Betracht. Geringere Verletzungen der Schale haben im allgemeinen keinen nachteiligen Einfluß auf die Ausbildung der Frucht, indem die Wunde leicht durch bräunliches Korkgewebe vernarbt, wie es an Pflaumen, Kirschen, Birnen, Äpfeln, Weinbeeren, Kürbissen ꝛc. oft zu sehen ist. Auch eine tiefer in das Fleisch dringende Wunde heilt sich oft aus, bedingt aber dann meist eine ungleichmäßige oder unvollständige Ausbildung des Fruchtfleisches und eine Mißgestaltung der ganzen Form. Hierher gehört auch der Samenbruch, den man besonders an Weinbeeren, infolge verschiedener Verwundungen (vergl. das Kapitel Hagelschlag) beobachtet. An einzelnen Beeren ragen die Samenkerne frei über die Oberfläche der Frucht hervor; die letztere bleibt gewöhnlich kleiner als die unverletzten, reift aber im übrigen gut aus. Die lokale Verletzung der Epidermis und des unterliegenden Parenchyms geschieht in einem frühen Stadium. Indem nun diese Gewebe absterben und dem sich vergrößernden Samen durch Dehnung nicht folgen können, zerreißen sie und lassen den Samen hervortreten, während die übrigen Stellen der Frucht sich normal ent wickeln. Ähnliches sieht man an Kirschen, welche manchmal durch Sperlinge an einer Seite bis auf den Kern verwundet sind, so daß dieser sichtbar ist oder etwas hervorragt; um denselben hat sich das Fleisch und die Epidermis zusammengezogen, und durch Korkbildung, die sich bis an den Kern fortsetzt, ist der Abschluß hergestellt. Wenn dergleichen Früchte aber erst im völlig reifen Zustand bis ins Fleisch verwundet werden, wie besonders bei dem Aufspringen der Kirschen und Pflaumen, so tritt keine auf Heilung bezügliche Veränderung mehr ein.

---

4. Kapitel.

Behandlung der Wunden.

Zweck der Wundenbehandlung.

Die kunstgerechte Behandlung der Wunden soll sowohl die etwaige Wundfäule möglichst verhüten, als auch den natürlichen Heilungsprozeß befördern und beschleunigen.

Bei nichtholzigen Pflanzen.

Bei den krautartigen und sukkulenten Pflanzen ist natürlich eine direkte Behandlung der Wunden unmöglich, da ein Eingriff in solche Teile sich von selbst verbietet. Das Verfahren muß sich hier mehr auf die Prophylaxis etwaiger Wundfäule, also auf möglichste Vermeidung übermäßiger Feuchtigkeit beschränken, und ergiebt sich das in dieser Beziehung zu Thuende von selbst aus dem, was oben bei der Wundfäule der in Rede stehenden Pflanzen bemerkt worden ist.

Behandlung der Wunden der Holzpflanzen.

Wohl aber lassen sich für die Wunden der Holzpflanzen bestimmte Vorschriften geben. Die diesbezüglichen Maßregeln können sich zunächst darauf erstrecken, daß die Wunden, die man den Pflanzen notwendig beibringen muß, wie beim Schnitt und beim Ausästen, so gemacht werden, daß man dadurch jenen Zweck am besten erreicht. Es genügt, diese Regeln hier kurz anzudeuten, da die theoretische Begründung derselben in den vorhergehenden Artikeln zu finden ist. Trockenäste müssen rechtzeitig entfernt werden. Dünnere Trockenäste fallen, ohne bemerkenswerte Schäden zu hinterlassen, von selbst ab. Die Wegnahme lebender Äste darf ebenso wie die Trockenästung nur zur Zeit der Vegetationsruhe, nicht in der Saftzeit vorgenommen werden; jede Ästung vom Ende März bis Mitte September ist zu verwerfen. Das Entfernen der Äste muß bei Trocken- wie bei Grünästung in der Weise geschehen, daß man die Basis des Astes glatt am Stamme absägt. Dabei ist es nötig, zuerst von unten einzuschneiden, dann durch Unterstützung des Astes zu verhindern, daß derselbe sich früher senkt, bis er von oben völlig durchschnitten ist, und ihn dann etwas vom Baume abzustoßen. Die Schnittfläche muß glatt gesägt sein, jede splittrige Wunde ist nachteilig. Ebenso müssen möglichst alle horizontalen Schnittflächen vermieden werden. Bei der viel ventilierten Frage der Eichenästung ist auch die zulässige Größe der Wundfläche erörtert worden, weil je später die Wunde durch Überwallung sich schließt, die Wundfäule desto mehr um sich greift. Göppert[1]) unterscheidet drei Grade der Dauer des Eichenholzes nach derartigen Verwundungen: 1. Grad: Schnittfläche von 3—5 cm Durchmesser, erforderliche Zeit der Überwallung 4—8 Jahre, Folgen: nur Bräunung nahe der Schnittfläche. 2. Grad: Schnittfläche von 10—15 cm Durchmesser, Überwallung nach 10—15 Jahren, Folgen: umfangreiche Schwärzung des Astkegels bis tief in das Stammholz. 3. Grad: Schnittfläche 15—20 cm, Überwallung nach 15—20 Jahren, Folgen: Steigerung aller genannten Symptome in bedenklichem Grade, zuletzt Fäulnis, welche jeden Gebrauch zu Nutzholzzwecken ausschließt. R. Hartig[2]) bezeichnet als äußerstes zulässiges Maß bei Eichenästung Wundflächengrößen von 10—12 cm Durchmesser.

Behandlung der Schälwunden.

An Schälwunden ist nur dann Hoffnung den Prozeß der Bekleidung mit neuer Rinde auf der ganzen Wundfläche einzuleiten, (S. 70), wenn die Wunde zur Zeit der cambialen Thätigkeit gemacht wurde, wo Cambium auf der Wunde zurückbleibt, und wenn

[1]) Über die Folgen äußerer Verletzungen der Bäume, pag. 59—67.
[2]) Zersetzungserscheinungen des Holzes, pag. 142.

man sehr bald nach der Verwundung den Stamm umwickelt mit Wachstuch oder einem ähnlichen wasserdichten Zeug, wobei die Berührung der Wundfläche möglichst vermieden werden muß.

Schneiden der Wunden

Unter Umständen kann es geraten sein, eine Wunde noch weiter zu schneiden, wenn sie nämlich von einer Art ist, welche ihre natürliche Heilung sehr erschwert und Zersetzungserscheinungen begünstigt; sie muß dann in eine Form gebracht werden, in welcher jene Nachteile vermieden sind; über das Wie hat der spezielle Fall zu entscheiden. Und um gewisse Fehler und chronische Wunden zu beseitigen, wie Maserkröpfe, Krebsstellen, Gummiflüsse u. dergl., ist es nötig, bis ins gesunde Holz zu schneiden, um eine zwar größere, aber leichter durch Überwallung sich schließende Wunde zu erzeugen. Jedenfalls müssen alle toten Rindenteile, die etwa auf den Wunden zurückgeblieben sind, und solche, die mit dem Holzkörper nicht mehr in organischem Zusammenhange sich befinden, abgeschnitten werden, weil sie die Wundfäule begünstigen und die Überwallung erschweren würden. Nur solche Rindenteile sind zu schonen, welche etwa auf der Rinde unverletzt geblieben sind und im Zusammenhange mit dem Wundrande stehen, weil sie dann ernährt werden und Überwallungen von sich ausgehen lassen.

Theerung und Baumkitt.

Die Wundflächen des Holzes können durch konservierende Mittel vor Wundfäule geschützt werden. Bei den Nadelhölzern ist, wie schon erwähnt, der Harzüberzug, mit der sich die Wunden des Holzkörpers bedecken, eine natürliche Wundsalbe von vorzüglichster Wirkung. Bei den Laubhölzern ersetzt die künstliche Theerung mit Steinkohlentheer den Harzüberzug der Nadelhölzer. R. Hartig[1]) berichtet, daß der Theer, soweit er direkt vordringt, zwar die Zellen tötet, aber sie vor Zersetzung schützt, und daß in unmittelbarster Nachbarschaft einer mit Theer gefüllten Holzfaser sich lebendes Holzparenchym befindet, zum Beweise, daß nicht eine tiefergehende nachteilige Wirkung des Theers stattfindet. Die günstigste Zeit für die Operation ist der Winter; der Theer dringt dann sofort in alle geöffneten Organe des Holzkörpers bis auf mehrere Millimeter, in den Gefäßen der Eiche zuweilen bis 1 cm tief ein. Im Frühling und Sommer dagegen dringt er, da die hervortretende Feuchtigkeit störend dazwischen tritt, nicht nur nicht in die Schnittfläche ein, sondern er haftet selbst äußerlich nur schlecht und erzeugt einen mangelhaften Verschluß. Nach R. Hartig bräunen sich bei allen Ästungen zur Saftzeit trotz der Theerung die Schnittflächen

---

[2]) l. c. pag. 139.

nachträglich 1—2 cm tief, während im Winter oder Spätherbst geästete und gut getheerte Flächen sich oft bis an die 1—2 mm tief eingedrungene Theerschicht vollständig ungebräunt erhalten; selbst nach 70 Jahren und bei einer Wundflächengröße von 10 cm Durchmesser ist nicht die geringste Veränderung wahrzunehmen gewesen. Schaden können nur gewisse parasitische Pilze bringen, wenn sie vor der Theerung die Wundfläche befallen haben. Außerdem sind noch verschiedene Arten von Baumkitt und Baumwachs in Gebrauch, deren Wirkung immer auf dasselbe, d. h. auf konservierende Kraft und Haltbarkeit hinauskommt. Gewöhnliche Rezepte dazu sind: 1/2 Kilo Kolophonium geschmolzen und mit 1/4 Kilo Spiritus und 2 Theelöffel Kollodium vermengt, oder einfach 1/2 Kilo Weißpech und 1/8 Kilo Spiritus.

Die Anwendung aller dieser künstlichen Wundverschlüsse ist indes nur für umfangreichere Wunden nötig, bei denen wegen Verzögerung der Vollendung der Heilung Zersetzungserscheinungen ohne diese konservierenden Mittel unvermeidlich sein würden. Die kleineren Wunden, besonders die Schnittflächen der Zweige und dünneren Äste sind ja schon durch die an jeder Holzwunde eintretende Schutzholzbildung von Natur genügend geschützt für die wenigen Jahre, welche jene Wunden offen zu stehen brauchen, bis der Überwallungsprozeß sie geschlossen hat.

Behandlung hohler Bäume.

Hohle Bäume füllt man mit Steinen aus und verschmiert die Öffnung mit Lehm oder Mörtel oder mit getheerten Holzpflöcken. Der in manchen Gegenden herrschende Gebrauch, die hohlen Weiden auszubrennen, um der Fäule im Innern Einhalt zu thun, schützt wohl für einige Zeit; aber abgesehen von der Beschädigung, die dadurch leicht die lebenden Teile des Baumes erleiden, wird der Stamm dadurch zu schwach, um stärkeren Stürmen widerstehen zu können. An den ältesten bekannten Linden, die wegen des enormen Umfanges ihrer freilich ganz hohlen Stämme berühmt sind, findet man wohl die Defekte des Stammes zugemauert und die stärksten Äste durch einen Unterbau von hölzernen oder steinernen Pfeilern gestützt.

III. Abschnitt.
Erkrankungen durch atmosphärische Einflüsse.

---

1. Kapitel.
Das Licht.

Beziehungen des Lichtes zur Pflanze.

Der Einfluß des Lichtes auf die Pflanzen ist ein sehr vielseitiger. Die Physiologie lehrt, daß eine ganze Reihe verschiedener Lebensthätigkeiten durch das Licht entweder bedingt oder doch beeinflußt wird. Daher sind mannigfache Störungen zu erwarten, wenn die Pflanzen sich unter Verhältnissen befinden, in denen sie entweder gar kein oder ein zu schwaches Licht empfangen, oder auch, wenn sie einem zu intensiven Lichte ausgesetzt werden. Wir haben hier natürlich nur diejenigen Wirkungen des Lichtes und des Lichtmangels zu besprechen, welche pathologischen Charakters sind; die normalen Lebensprozesse, welche durch Lichtverhältnisse bedingt werden, wie die Bewegungen des Protoplasmas und der Chlorophyllkörper, die heliotropischen Krümmungen der Pflanzenteile und die Schlafbewegungen der Blätter sind Gegenstand der Pflanzenphysiologie.

I. Verhinderung der Chlorophyllbildung durch Lichtmangel.

Lichtmangel verhindert die Chlorophyllbildung.

Mit wenigen Ausnahmen bilden die Pflanzen ihr Chlorophyll nur bei Einwirkung des Lichtes. Lassen wir im Finstern Samen keimen oder Knollen, Zwiebeln und unterirdische Stöcke der Stauden austreiben, oder die Knospen der Holzpflanzen sich entfalten, so bleiben alle neugebildeten Teile gelb oder ganz bleich. Man bezeichnet diese Krankheit, bei welcher übrigens meist auch gewisse Abweichungen in der Gestalt und sonstigen Beschaffenheit der Organe eintreten, von denen unten die Rede sein wird, als Vergeilen, Verschnaken, Verspillern, Etiolieren (étiolement). Dabei sind jedoch die aus protoplasmatischer Substanz gebildeten Chlorophyllkörner im Protoplasma der Zellen im farblosen oder gelben Zustande vorhanden; es fehlt ihnen nur der durch Alkohol ausziehbare eigentliche grüne Farbstoff, das Chlorophyll. Der gelbe Farbstoff, den sie enthalten, heißt Etiolin; er geht erst durch Lichtwirkung in das Chlorophyll über. Bringt man etiolierte Pflanzen ans Licht, so ergrünen sie in kurzer Zeit, vorausgesetzt, daß die Temperatur gewisse Grenzen nicht überschritten hat (siehe zweites Kapitel). Zur Chlorophyllbildung genügt sogar ein äußerst

schwaches Licht (etwa solches, bei dem man eben noch kleinen Druck lesen kann), erst völlige Dunkelheit verhindert sie. Jedoch erfolgt die Ergrünung rascher und die Pflanzen werden dunkler grün als im Halbdunkel, wenn die Lichtintensität sich mehr der Tageshelle nähert. In direktem Sonnenlicht geschieht die Ergrünung dagegen etwas langsamer als im diffusen Tageslicht[1]). In dieser Wirkung kann das Sonnenlicht auch durch Lampenlicht oder elektrisches Licht ersetzt werden.

Erklärung der Wirkung des Lichtes auf die Chlorophyllbildung.

Die gewöhnliche Auffassung, daß die Erzeugung des Chlorophylls eine direkte Lichtwirkung, ein photochemischer Prozeß sei, ist jedoch unberechtigt, wie ich kürzlich geltend gemacht habe[2]). Denn daß die Pflanze des Lichtes nicht bedarf, um Chlorophyll zu bilden, beweisen die ergrünenden Finsterkeimpflänzchen der Koniferen, auf welche Sachs zuerst aufmerksam gemacht hat; auch die Wedel der Farne bilden nach Sachs in tiefster Finsternis ihr Chlorophyll aus. Übrigens nehmen die Koniferen hinsichtlich ihrer Fähigkeit, auch im Dunkeln Chlorophyll zu bilden, keineswegs eine exzeptionelle Stellung im Pflanzenreiche ein, wie man eine Zeit lang glaubte. Denn erstens fand ich unter einer großen Zahl von Keimpflanzen des Raps und der Sonnenblume, welche im Dunkelzimmer meines Laboratoriums, also in vollständiger Finsternis in einem Kasten beisammen gewachsen waren, vereinzelte Individuen völlig ergrünt. Zweitens habe ich gezeigt, daß auch bei den Koniferen diese Erscheinung nur auf die Keimpflanzen beschränkt ist, indem die Knospen aller dieser Bäume im Dunkeln stets völlig etiolierte Triebe liefern. Endlich hat Wiesner schon darauf aufmerksam gemacht, daß die Keimpflanzen von Larix im Dunkeln regelmäßig etiolieren und daß auch bei andern Koniferen im Dunkeln vereinzelte etiolierte unter den ergrünenden Keimpflanzen vorkommen, sowie daß selbst die letzteren weniger Chlorophyll besitzen als die im Lichte erwachsenen. Die richtige Auffassung der Sache ist also die, daß die Pflanzen in den meisten Fällen im Finstern die Bildung des Chlorophylls freiwillig unterlassen, was eben damit im Zusammenhange steht, daß dasselbe ja unter diesen Umständen für sie zwecklos ist, weil die durch das Chlorophyll auszuübende Assimilation der Kohlensäure nur durch Mithilfe des Lichtes möglich ist.

Diese Auffassung stimmt denn auch mit der andern Thatsache zusammen, daß die Wirkung des Lichtes auf die Chlorophyllbildung an

---

[1]) Famintzin, Mélanges biologiques. Pétersbourg 1886. T. VI, pag. 94.

[2]) Vergl. hierüber und über das folgende oben Gesagte mein Lehrbuch d. Botanik. I. 1892. pag. 641—643.

der Pflanze streng lokal ist. Denn wenn an einer und derselben Pflanze nur ein beliebiger Teil dunkel gehalten wird, so beschränkt sich das Etiolement auch nur auf diesen, während alle belichteten Teile normal sich ausbilden. Verdunkelt man nur einen einzelnen Sproß, oder an einem Sprosse ein einziges Blatt, oder an einem Blatte eine einzelne Stelle, so unterbleibt auch nur an diesen Teilen die Chlorophyllbildung.

Beziehung des Lichtes zu den Blütenfarben.

Im Anschluß hieran sei noch bemerkt, daß die Färbung der Blüten durch Lichtmangel im allgemeinen nicht beeinträchtigt wird, wie schon Sachs[1]) gelehrt hat; jedoch bleiben die purpurroten und violetten Teile der Blumenkronen mancher Pflanzen nach Askenasy[2]) im Dunkeln blasser oder ganz farblos, was ich für Pulmonaria officinalis bestätigen kann. Auch die durch gerötete Zellsäfte bedingte Rotfärbung mancher Früchte, wie das Rotbäckigwerden der Äpfel findet nur am Lichte statt.

II. Verhinderung der Kohlensäureassimilation durch Lichtmangel.

Lichtmangel verhindert die Kohlensäure-assimilation.

Die grünen Pflanzen erzeugen den Hauptteil ihrer kohlenstoffhaltigen organischen Substanz aus der Kohlensäure der Luft und aus dem Wasser, die beide in den chlorophyllhaltigen Zellen assimiliert werden, wobei der überschüssige Sauerstoff der Kohlensäure abgespalten und von der Pflanze ausgeschieden wird.

Das Produkt dieser Assimilation ist in den meisten Fällen Stärkemehl, welches dabei in den Chlorophyllkörnern entsteht. Wie die Pflanzenphysiologie lehrt, ist dieser Prozeß streng vom Lichte abhängig. Für die grünen Pflanzen ist daher genügende Beleuchtung eine notwendige Lebensbedingung und es resultieren die auffallendsten Krankheitserscheinungen, wenn die grünen Pflanzenteile vom Lichte ausgeschlossen oder ungenügend belichtet sind, indem dann keine neue kohlenstoffhaltige Substanz produziert werden kann. Wenn man Samen der Chlorophyllpflanzen im Dunkeln keimen läßt, so entwickelt sich eine Anzahl Wurzeln, Stengelinternodien und Blätter; aber nach einiger Zeit steht die Produktion still, nämlich sobald als alle Reservenährstoffe, welche der Samen enthielt, verbraucht sind. Wägungen zeigen dann, daß die Trockensubstanz solcher Kümmerlinge geringer ist als die der Samen vor der Keimung, weil die Pflanze nicht nur keine neue organische Substanz bilden konnte, sondern auch durch Atmung

---

[1]) Experimentalphysiologie, pag. 17.
[2]) Bot. Zeitg. 1876, Nr. 1 und 2.

einen Teil derselben verlor[1]). Hatte die Keimung im Lichte stattgefunden und bringt man die Pflanzen am Ende der Keimung, wo die Reservenährstoffe des Samens erschöpft sind, ins Dunkle, so findet keine weitere Entwickelung statt. Haben jedoch die Pflanzen schon eine Zeit lang am Lichte gelebt und assimiliert, so reichen die erzeugten Stoffe hin, um im Dunkeln neue etiolierte Organe zu bilden, so lange bis jene aufgezehrt sind, worauf die weitere Entwickelung ebenfalls stillsteht. Bleiben solche Pflanzen noch länger im Finstern, so sterben sie endlich, weil ein großer Teil der organischen Substanz bei der fortdauernden Atmung verzehrt wird. Werden sie aber vorher wieder ans Licht gebracht, so können sie ergrünen, assimilieren und die Vegetation von neuem fortsetzen. Obiges gilt in der gleichen Weise auch von denjenigen Pflanzen, welche auch in der Dunkelheit Chlorophyll erzeugen oder dasselbe nicht verlieren.

Wirkungen der Helligkeitsgrade.

Diejenige geringe Helligkeit, welche zur Bildung des Chlorophylls hinreicht, genügt zur Assimilation nicht. Im allgemeinen ist schon im diffusen Tageslicht innerhalb eines Zimmers die Ausscheidung von Sauerstoffblasen außerordentlich gering, während sie in direktem Sonnenlichte sehr lebhaft ist; sie scheint überhaupt der Lichtintensität nahezu proportional zu sein[2]). Daher ist schon in der Helligkeit eines Zimmers die Kohlensäureassimilation so schwach, daß die Produktion der meisten Pflanzen darunter leidet. Diese schädliche Wirkung wird in ihrer Abstufung nach dem Helligkeitsgrade und der Beleuchtungsdauer sehr anschaulich gemacht durch folgende Resultate der von Sachs[3]) mit Tropaeolum majus angestellten Versuche, bei denen die Pflanzen in Töpfen mit derselben Gartenerde in einem und demselben Zimmer erwuchsen. Nr. I blieben beständig in einem finsteren Raum; Nr. II wurden hinter das die beiden Westfenster trennende Mauerstück gestellt, wo sie nur schwaches Zimmerlicht erhielten; Nr. III standen täglich von morgens 6 Uhr bis mittags 1 Uhr an einem Westfenster, die übrige Zeit im finsteren Raum; Nr. IV täglich von 1 Uhr Mittag bis morgens 6 Uhr an demselben Westfenster, die übrige Zeit im Dunkeln; Nr. V blieben beständig am Westfenster. 4 Samen bei 110° getrocknet, ohne Hüllen = 0,394 Grammen.

---

[1]) Boussingault, Compt. rend. 1864, pag. 883. — Sachs, Experimentalphysiologie, pag. 20.
[2]) Wolkoff, Jahrb. f. wiss. Bot. V. pag. 1.
[3]) Experimentalphysiologie, pag. 21—23.

Nr.	4 Pflanzen bei 110° getrocknet in Grammen	Allgemeinzustand der Pflanze.	Mittlere Stammlänge einer Pflanze.	Zahl der Blätter einer Pflanze.	Zahl der Blütenknospen	Zahl der offenen Blüten.	Zahl der verwelkten Blüten.	Zahl der Früchte.
			cm					
I.	0 238	Nach 25 Tagen verdorben.	48	4	0	0	0	0
II.	0,264	Nach 25 Tagen verdorben.	38	6	0	0	0	0
III.	5,220	Nach 62 Tagen noch am Leben.	58	176	wenige verdorbene.	0	0	0
IV.	5,209	Nach 62 Tagen noch am Leben.	65	147	wenige verdorbene.	0	0	0
V.	20,299	Nach 62 Tagen noch am Leben.	173,8	265	46	18	71	13

In ähnlichem Grade lichtbedürftig sind die meisten unsrer landwirtschaftlichen Kulturgewächse; sie zeigen unter den gleichen Verhältnissen dieselben krankhaften Zustände. Pflanzen dagegen, welche von Natur an tief schattigen Standorten zu wachsen pflegen, werden durch diese geringe Helligkeit noch nicht geschädigt; ihre Assimilation findet dabei noch hinreichend lebhaft statt, wie ihre normale Entwickelung unter diesen Verhältnissen beweist. Dies gilt besonders von den im Waldesschatten wachsenden Moosen und Farnkräutern. Es giebt sogar nahe verwandte Pflanzen, welche ungleich empfindlich gegen schwächere Helligkeitsgrade sind: z. B. verträgt die Fichte die Beschattung durch Hochwald leicht, die Kiefer nicht.

Künstliches Licht.

Auch künstliches Licht ruft Assimilation hervor. Man hat das konstatiert vom Lampenlicht, Gaslicht, Magnesiumlicht, Kalklicht und vom elektrischen Licht. Natürlich wirken diese nach Maßgabe der in ihnen vertretenen farbigen Strahlen (s. unten) und ihrer Intensität, so daß keine dieser Lichtquellen dem Sonnenlichte in ihrer Wirkung gleichkommt, und daß alle Versuche, mit solchem Lichte Pflanzen zu erziehen, mißlich ausfallen.

Wirkungen der Lichtfarben.

Die einzelnen Lichtfarben sind von sehr ungleichen Wirkungen auf die Assimilation. Die Zersetzung der Kohlensäure ist im weißen Lichte stärker als in irgend einem farbigen Lichte, weil in dem ersteren die kombinierte Wirkung aller einzelnen farbigen Strahlen zum Ausdruck kommt. Was die relativen Wirkungen der einzelnen Farben des Sonnenspektrums auf die Zersetzung der Kohlensäure anlangt, so ist

wenigstens das eine sicher festgestellt, daß die hellleuchtenden gelben und roten Strahlen im Vergleich mit den blauen die weitaus größere Wirkung haben; beide Werte verhalten sich etwa wie 88,6 zu 7,6. Nur in Bezug auf die Lage des Maximums sind die einzelnen Forscher nicht übereinstimmend, indem nach neueren Untersuchungen das Maximum bald ins Rot, bald zwischen C und D des Spektrums, also mehr dem Gelb genähert, verlegt worden ist[4]). Praktisch wird daraus also geschlossen werden müssen, daß von farbigem Licht den grünen Pflanzen das rote und das gelbe am wenigsten schädlich, grünes und besonders blaues und violettes aber nachteiliger ist. Indessen darf man nicht vergessen, daß unsre gewöhnlichen farbigen Gläser doch meistens Strahlen aller Farbengattungen hindurchgehen lassen. Über Mittel, monochromatisches Licht für physiologische Versuche zu erzielen, muß ebenfalls auf die Pflanzenphysiologie verwiesen werden.

Unschädlichkeit des Lichtmangels

Da die chlorophylllosen Pflanzen Kohlensäure nicht assimilieren, so ist für sie das Licht auch keine Lebensbedingung, wie die Entwickelung der Schimmelpilze in dunklen Räumen, das unterirdische Vorkommen der Trüffeln, die Kultur der Champignons in Kellern und Bergwerken beweisen. Auch für die nicht grünen Teile chlorophyllhaltiger Pflanzen ist die unmittelbare Einwirkung des Lichtes keine Lebensbedingung, weil sie durch die grünen Teile ernährt werden. Ebenso ist Lichtmangel unschädlich für die grünen Pflanzen außer der Periode der Assimilation. So wirkt auf die Chlorophyllpflanzen in derjenigen Zeit des Jahres, wo sie keine grünen Organe besitzen (sommergrüne Laubhölzer), Lichtmangel nicht schädlich ein, ja dieselben können sogar im Besitze der chlorophyllhaltigen Teile diejenigen Monate, wo die Assimilation ruht, ohne Schaden im Dunkeln zubringen. Denn nicht bloß laubwechselnde, sondern auch immergrüne Gehölze werden während der Wintermonate ohne Nachteil bedeckt und somit verdunkelt.

Unterdrückung durch Lichtmangel.

Die im Vorstehenden erörterten schädlichen Folgen ungenügender Beleuchtung zeigen sich bei den Pflanzenkulturen nicht selten und werden hier als Unterdrückung, Verdämmung oder Erstickung bezeichnet. Junge Pflanzen ersticken im Unkraute, z. B. Rübenpflanzen, wenn sie unter wuchernden großblätterigen oder dichtstehenden, also beschattend wirkenden Unkräutern stehen, ebenso der Klee unter einer Deckfrucht, wenn diese dicht steht, groß- und reichblätterig ist. Solche Pflanzen kümmern und gehen bald ein ohne ihre volle Entwickelung erreicht zu haben. In schwächerem Grade zeigt sich die Erscheinung z. B. in der kümmerlichen Entwickelung lichtbedürftiger Pflanzen, wenn sie als Topfgewächse in Zimmern gezogen

---

[1]) Das Nähere darüber siehe in meinem Lehrbuch der Botanik I. 1892, pag. 541.

werden, sowie wenn der Gemüsepflanzen in Gärten unter dichtbelaubten Bäumen gebaut werden. In den Forsten ist das Verdämmen des niedrigeren Holzes durch höheres eine bekannte Sache. Die Stämme gehen wohl mit den andern Individuen eine Zeit lang in die Höhe und wachsen auch gerade, aber sie bleiben dünner und haben nur schwache Zweiganfätze und können im stark beschattenden Hochwald endlich als schwächliche Stämmchen unter überhandnehmender Zweigdürre zu Grunde gehen. Manche verlieren dadurch öfters schon früh den Wipfel und werden, indem untere Zweige sich vordrängen, zu Strauchformen, wie es z. B. die Lärche thut, wenn sie von ihresgleichen unterdrückt wird. Auch die Holzbildung wird bei unterdrückten Bäumen gestört. Nach R. Hartig[1]) bilden solche Pflanzen im ersten Stadium der Unterdrückung relativ breite Herbstholzschichten, also schweres Holz. Der Jahresring nimmt aber absolut an Breite ab und sinkt nach unten auf eine Minimalbreite herab, während in den höheren Teilen die Ringbreite größer ist als unten. Nach lange anhaltender Unterdrückung tritt dagegen das Herbstholz im unteren Stammteile gegen das lockere Frühjahrsholz auffallend zurück und verschwindet fast gänzlich, während in den oberen Teilen das Holz relativ schwer ist.

Ungenügende Dauer des Tageslichts im Winter.

Aus der Unentbehrlichkeit einer genügend langen täglichen Dauer der Beleuchtung erklärt es sich auch, warum zur Winterszeit, auch wenn für günstige Temperatur, z. B. in Gewächshäusern, gesorgt wird, unsre gewöhnlichen Sommerpflanzen nicht zu gedeihlicher Entwickelung zu bringen sind; die Dauer der täglichen Beleuchtung ist dann eben zu kurz.

Lichtmangel beeinflußt den Wachstumsprozeß.

III. Abnormitäten des Wachstums bei Lichtmangel.

Auch auf Wachstumsprozesse hat die Art der Beleuchtung einen hervorstechenden Einfluß. Allein die einzelnen Pflanzenteile werden durchaus nicht in gleichem Sinne hiervon beeinflußt; ein und dieselben Lichtverhältnisse bringen bei den verschiedenen Pflanzenteilen oft gerade entgegengesetzte Wirkungen auf das Wachstum hervor. Es war ein irriges und vergebliches Bemühen, womit die Pflanzenphysiologen eine Zeit lang nach einem allgemeinen Naturgesetze suchten, welches die Beeinflussung des pflanzlichen Wachstums durch die Lichtstrahlen ausdrücken sollte. Ich habe kürzlich in meinem Lehrbuche der Botanik (I, S. 389—397) an Stelle dieser veralteten Anschauung eine neue gesetzt, mit der nun erst alle, bisher anscheinend einander widersprechenden Thatsachen in der naturgemäßesten Weise harmonieren. Wir müssen uns die Beeinflussungen des Wachstum durch Lichtmangel als Reize vorstellen, denen gegenüber die verschiedenen Pflanzenteile gemäß ihrer physiologischen Ungleichwertigkeit auch in ungleicher Weise reagieren; die Art aber, wie sie reagieren, steht meistens in deutlich erkennbarer Beziehung zu ihren Funktionen und Bedürfnissen und stellt sich also als eine für sie vorteilhafte Anpassung heraus, wie uns solches

[1]) Bot. Zeitg. 1870, Nr. 32—33, und 1874, pag. 391.

ja so allgemein in vielen andern Beziehungen bei den lebenden Wesen begegnet.

Die Feststellung der verschiedenen Beeinflussungen des Wachstums wird hier unsere Hauptaufgabe sein, um Klarheit in diese Verhältnisse zu bringen. Aus der folgenden Darstellung wird der Leser von selbst die eigentlich pathologischen Seiten dieser Beziehungen herausfinden.

Licht zum Wachstum notwendig

Für einige Pflanzenteile ist das Licht eine notwendige Bedingung des Wachsens; sie wachsen im Dunkeln gar nicht. Borodin[1]) hat gezeigt, daß die Sporen vieler Farne, diejenigen von Polytrichum commune und die Brutknospen von Marchantia, denen sich hierin nach Leitgeb[2]) die Sporen von Lebermoosen anschließen, im Dunkeln nicht keimen. Unter den Phanerogamen sind nach Wiesner nur die Samen von Viscum in ihrer Keimung an die Gegenwart von Licht gebunden. Da diese Sporen und Samen Reservestoffe, also Baumaterial für das Wachstum enthalten, so kann die Ursache des Nichtwachsens im Dunkeln nicht in dem Unterbleiben der Kohlensäureassimilation gesucht werden; es dürfte vielmehr die Erscheinung mit dem unten zu erwähnenden hemmenden Einfluß, den die Dunkelheit auf das Flächenwachstum anderer chlorophyllbildender Pflanzenteile, insbesondere der Laubblätter der höheren Pflanzen ausübt, zu vergleichen sei.

Licht zum Wachsen unnötig bei der Keimung der Samen, beim Wachsen der Wurzeln, Blüten und Früchte.

Bei sehr vielen Pflanzenteilen ist das Wachsen vom Lichte ganz unabhängig; bei ihnen erfolgt Wachsen im Dunkeln wie im Hellen ohne bemerkbare Unterschiede. Hierher gehört das erste Wachstum der jungen Pflanze, auf welchem die Keimung der meisten Samen und der Sporen der Pilze beruht. Denn es ist allgemein bekannt, daß der Keimungsprozeß im Dunkeln wie im Lichte stattfindet. Es liegen freilich Angaben einiger Beobachter vor, wonach manche Samen im Dunkeln, andre wieder im Lichte besser oder schneller keimen sollen. Doch mögen dabei wohl meist andre Faktoren mitgewirkt haben. Nach den Untersuchungen Nobbe's[3]) und Adrianowsky's[4]) bleibt sich bei den meisten Samen das Keimungsprozent im Dunkeln wie im Lichte ziemlich gleich, wenn für Konstantbleiben der Temperatur und Feuchtigkeit gesorgt wird, nur tritt allerdings die Keimung im Dunkeln schneller ein. So war am ersten Tage das Verhältnis der gekeimten Samen zwischen Licht

---

[1]) Bullet de l'acad. de St. Pétersbourg 1868, XIII, pag. 432.

[2]) Keimung der Lebermoose in ihrer Beziehung zum Licht. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. Wien 1876. I.

[3]) Landwirtsch. Versuchsstationen 1882, pag. 347.

[4]) Wirkung des Lichts auf Keimung der Samen. Refer. im Botan. Centralbl. 1884, Nr. 29.

und Dunkel bei Cannabis 9:42, bei Brascia napus 17:62, bei Agrostis stolonifera 5:54, bei Avena 9:42. Es liegt also hierin bereits eine Annäherung an das dritte Abhängigkeitsverhältnis vom Lichte, nämlich an die Beschleunigung des Wachsens durch Dunkelheit, welches wir sogleich kennen lernen werden. Völlige Unabhängigkeit des Wachsens von Licht und Dunkelheit zeigt sich ferner bei allen denjenigen Pflanzenteilen, welche ihrem natürlichen Vorkommen nach auf dunkle Orte angewiesen sind, also bei den unterirdischen. An den Wurzeln haben die meisten Beobachter keinen bestimmten Unterschied in der Verlängerung finden können, wenn dieselben im Hellen oder im Dunkeln wachsen gelassen wurden; neuere Beobachter haben allerdings auch bei Wurzeln die für viele Stengel zutreffende Beschleunigung des Wachstums durch Dunkelheit, freilich in viel schwächerem Grade, ebenfalls gefunden[1]); so betrug z. B. an den Wurzeln von Lupinus albus in 20 Tagen die Verlängerung im Dunkeln 192,7, im Lichte 161,8 mm. Aber auch das Wachstum der Blütenteile und der Früchte geschieht im Hellen wie im Dunkeln in gleicher Weise, vorausgesetzt natürlich, daß die grünen Blätter im Lichte sich befinden, um die für Blüten- und Fruchtbildung erforderlichen Kohlenstoffverbindungen herzustellen; unter solchen Umständen kommen in dunkle Umhüllungen eingeschlossene Blütenknospen oder Fruchtanlagen zur Entwickelung[2]).

Dunkelheit bedingt Etiolement an den grünen Pflanzenteilen.

Die meisten oberirdischen vegetativen Organe, also die grünen Stengel und Blätter, repräsentieren die dritte Art der Beeinflussung des Wachsens durch das Licht: sie wachsen zwar auch im Hellen wie im Dunkeln, aber die Dunkelheit macht ihr Wachsen abnorm und dieser Zustand gehört mit zu den Eigenschaften, die das Etiolement charakterisieren, von welchem wir oben nur erst die auf das Unterbleiben der Chlorophyllbildung bezügliche Seite kennen gelernt haben; die etiolierten Pflanzenteile zeigen auch abnorme Gestalten, die eben durch den veränderten Wachstumsgang bedingt sind. Die Beeinflussung des Wachsens durch die Dunkelheit ist nun aber an den einzelnen Teilen eines blättertragenden Sprosses durchaus nicht homolog. Um daher diese Beeinflussung genau zu präzisieren, so betrachten wir Pflanzen, die unter im übrigen normalen Verhältnissen in konstanter Dunkelheit ihren ganzen Wachstumsprozeß durchlaufen, indem wir

[1]) Vergl. Strehl, Untersuchungen über das Längenwachstum der Wurzel. Leipzig 1874; Fr. Darwin, Arbeiten des botan. Instituts. Würzburg 1880. IV, pag. 521; Devaux De l'action de la lumière sur les racines. Bull. de la soc. botan. de France 1888, pag. 305.

[2]) Vergl. Sachs, Bot. Zeitg. 1865, pag. 17; Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. Leipzig 1881, pag. 645.

z. B. Samen, Knollen oder Zwiebeln in einem dunklen Raume auskeimen oder die Knospen von Holzpflanzen in dunklen Umhüllungen austreiben lassen, und vergleichen dann die hier gewachsenen Teile

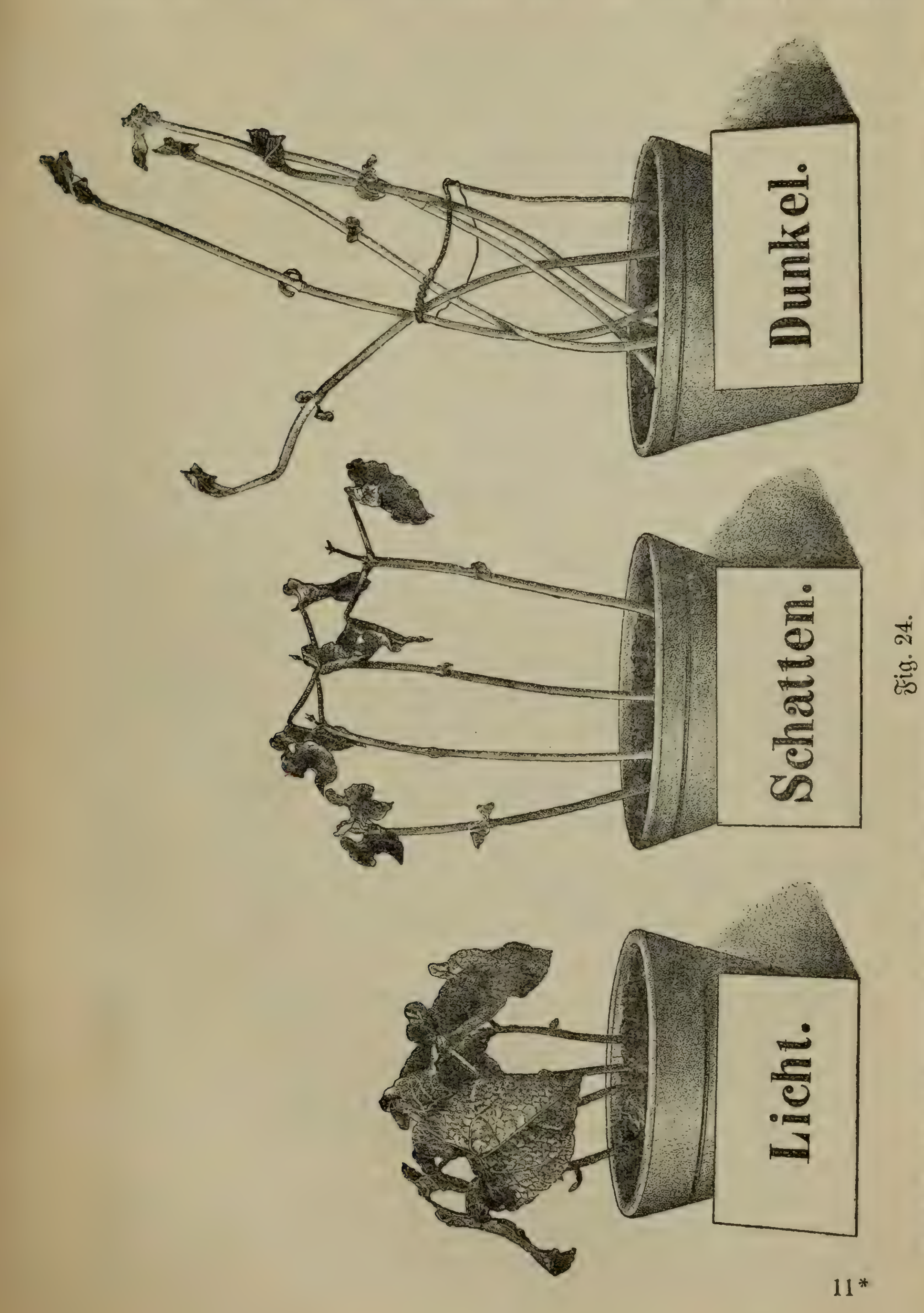


Fig. 24.

Einfluß des Lichtmangels auf den Wachstumsprozeß. Phaseolus nanus, gleichalt und unter gleichen Verhältnissen mit Ausnahme der Beleuchtung gewachsen.

mit den gleichnamigen am Lichte gewachsenen Organen derselben Pflanzen. Die Veränderungen, welche wir dabei in der Wachstumsgröße der einzelnen Teile bemerken (Fig. 24), lassen sich dann unter folgende für alle Pflanzen gültige Regel bringen. a) Diejenigen Teile, welche von Natur durch ein vorherrschendes Wachstum in die Länge charakterisiert sind, also die Internodien der Stengel, die Blattstiele und die langen, linealisch gestalteten Blätter der meisten Monokotylen, erleiden im Dunkeln eine Überverlängerung. Die genannten Teile erreichen im Finstern das Doppelte und mehr ihrer normalen Länge und bleiben dabei relativ oder absolut dünner als sonst. b) Die Blattspreiten dagegen zeigen eine hochgradige Reduktion des Wachsens, indem die am Lichte im allgemeinen nach allen Richtungen in die Fläche wachsenden Blattspreiten der Dikotylen im Dunkeln überhaupt nach keiner Richtung hin erheblich wachsen, sondern die Größe, welche sie im Knospenzustande besitzen, nur wenig ändern und dabei sogar mehr oder weniger in der gefalteten Lage verharren, die sie in der Knospe besaßen. Auch die im Dunkeln sich überverlängernden Blattspreiten der Monokotylen unterlassen im Dunkeln das Wachstum in die Breite gänzlich, sie bleiben ganz schmal und ebenso mit den Rändern zusammengerollt, wie im Knospenzustande. Die hier beschriebenen Wachstumsänderungen treten in ihrem stärksten Grade in vollständiger Finsternis hervor. Aber auch schon bei ungenügender Helligkeit machen sich diese Einflüsse in abgeschwächtem Grade geltend, und man findet alle Übergänge in dem gestaltlichen Aussehen der Pflanzen zwischen der Licht- und Dunkelpflanze, wenn man dieselben in verschiedenen Helligkeiten wachsen läßt, so daß also auch an ergrünten Pflanzen diese Wachstumsänderungen nach Maßgabe der Helligkeit sich einstellen. Hat man sich einmal die hier charakterisierten Symptome des Lichtmangels, also den charakteristischen **Habitus der Schattenpflanzen**, klar gemacht, so wird man an dem Aussehen jeder Pflanze beurteilen können, ob sie bei günstiger Beleuchtung erwachsen ist oder ob sie sich an einem Standorte befunden haben muß, wo sie mehr oder weniger Mangel an Licht gelitten hat. An den beschriebenen Wirkungen des Lichts auf das Wachstum sind unter den einzelnen farbigen Strahlen die blauen und violetten hauptsächlich beteiligt; denn in einem solchen Lichte erfolgt das Wachsen ähnlich wie im gemischten Tageslichte, während gelbes und rotes Licht mehr das Wachstum des Etiolements ähnlich wie die Dunkelheit erzeugen.

Erklärung des Wachstums-Etiolements.

Denjenigen Physiologen, welche sich bemühten, ein allgemein gültiges Gesetz zu suchen, nach welchem das Wachsen durch die Lichtstrahlen beeinflußt werden sollte, machten natürlich die im Vorstehenden

auseinandergesetzten, vielfach ja geradezu entgegengesetzten Wirkungen große Schwierigkeiten, und die allerirrigsten Voraussetzungen wurden gemacht, um diese Erscheinungen unter einen Gesichtspunkt zu bringen. Die Einwirkung des Lichtes sollte zur Bildung der Celluloſe notwendig sein, weil gewisse Pflanzenteile im Dunkeln nicht wachsen, und bei den sich im Dunkeln überverlängernden Teilen sollte es bald ein höherer Turgor der Zellen, bald eine größere Beweglichkeit der Micellen des Protoplasmas, bald eine größere Dehnbarkeit der zu wenig verdickten Zellhaut sein, wodurch das abweichende Verhalten dieser Pflanzenteile sich erkläre. Ich habe die einzig naturgemäße Erklärung dieser Beeinflussungen gegeben, indem ich Licht und Dunkelheit als Reize hinstellte, gegen welche die Pflanzenteile gemäß ihrer ungleichen Qualitäten und ungleichen Lebenszwecke auch ungleich reagieren. Das Unterbleiben des Flächenwachstums der Blattspreiten im Dunkeln fällt unter die allgemeine Regel, wonach funktionslose Organe nicht entwickelt werden, indem es eine nutzlose Vergeudung wäre, etwas auf die Ausbildung eines Blattes zu verwenden, welches sich nicht aus der Dunkelheit befreien kann. Die Überverlängerung der Stengelinternodien und Blattstiele im Dunkeln ist ebenfalls eine vorteilhafte Anpassung, weil sie ein Hilfsmittel ist, um die an diesen Internodien oder Blattstielen sitzenden Blätter schließlich doch ans Licht zu bringen, wohin sie naturgemäß gehören; dieses Mittel führt gewöhnlich auch sicher zum Ziele; denn da das Wachstum der Stengel und Blattstiele infolge des Geotropismus immer vertikal nach oben gerichtet ist, so müssen durch die Überverlängerung die genannten Organe schließlich über die Bodenoberfläche hervortreten, auch wenn etwa die Samen, aus denen die Triebe entspringen, sehr tief vom Boden verschüttet sein sollten. Alle Pflanzenteile aber, für deren Lebensfunktionen es gleichgültig ist, ob sie sich im Lichte oder im Dunkeln befinden, wie die unterirdischen Organe, Blüten und Früchte zeigen eben auch keine besondere Beeinflussung ihres Wachsens durch Lichtverhältnisse.

IV. Mangelhafte Ausbildung der mechanischen Gewebe bei Lichtmangel.

Lichtmangel verhindert die Bildung der mechanischen Gewebe.

In den bei Lichtmangel sich überverlängernden Pflanzenteilen sind auch die Zellen länger als im Lichte, und zwar bis um das drei- bis fünffache, ohne dabei dickwandiger zu sein. Im Gegenteil fällt die Verdickung der Zellmembranen in solch etiolierenden Pflanzenteilen durchgängig schwächer aus, und ganz besonders betrifft das die mechanischen Gewebe, also diejenigen, welche im normalen Zustande durch

stark verdickte Zellmembranen charakterisiert sind und dadurch die mechanische Festigung der Pflanzenteile bedingen. Wie G. Kraus[1]) gezeigt hat, verbleiben unter diesen Umständen die Holzbündel als schwache isolierte Stränge und die Libriformzellen des Holzes, die Bastzellen, die Zellen des Collenchyms und der Epidermis bleiben etwa bei der halben Verdickung ihrer Membranen stehen. Die Folge dieser ungenügenden Gewebebildung ist der auffallende Mangel an Festigkeit, den man an solchen Teilen beobachtet; die Stengel sind meist so schwächlich, daß sie leicht durch ihr eigenes Gewicht umsinken. Auch diese Wirkung des Lichtes zeigt sich in den verschiedensten Graden der Abstufung nach Maßgabe der verschiedenen Helligkeit.

Lagern. Auf derselben Ursache beruht auch das Lagern der Feldfrüchte, welches besonders am Getreide, jedoch auch an andern lang- und dünnstengeligen Pflanzen, wie Wicken und dergl. vorkommt. Sämmtliche Halme legen sich nieder; die nächste Veranlassung sind oft Wind und Regen, welche sie niederwerfen; in der späteren Entwickelungsperiode der Pflanze trägt auch das größere Gewicht der reifenden Ähre bei. Das Lagern ist nachteilig, weil es den Erntearbeiten Schwierigkeiten bereitet, auch weil mitunter ein Verderben und Faulen der dem Lichte entzogenen unteren Teile damit verbunden ist. Halme, die ein gewisses Alter noch nicht überschritten haben, kehren, wenn sie aus der Vertikale abgelenkt worden sind, durch geotropische Krümmungen ihrer Knoten von selbst wieder in lothrechte Richtung zurück. Daher wird zeitig eintretendes Lagern gewöhnlich wieder ausgeglichen; das Getreide steht nach einigen Tagen wieder auf. In der der Reife kurz vorangehenden Periode aber, in welcher die Lebensthätigkeiten im Halme allmählich erlöschen, verliert auch ein Knoten nach dem andern von unten nach oben fortschreitend seine geotropische Krümmungsfähigkeit. Tritt das Lagern in dieser Periode ein, so erheben die Halme nur ihre obersten Glieder notdürftig; noch später wird es gar nicht mehr ausgeglichen. Die geringe Festigkeit des Halmes, welche der Grund des leichten Umsinkens ist, hielt man lange Zeit für die Folge eines zu geringen Gehaltes an Kieselsäure. Allein abgesehen davon, daß die letztere zum größten Teile in den Blättern, nur in geringer Menge in den Internodien, in geringster Menge in den Knoten ihren Sitz hat, haben Analysen nachgewiesen, daß gelagertes Getreide an Kieselsäure nicht ärmer als andres ist[2]), und Kultur-

---

[1]) Pringsheim's Jahrb. f. wissensch. Bot. VII.

[2]) Pierre, Compt. rend. LXIII.

versuche haben gezeigt, daß auch bei Ausschluß der Kieselsäure normale, feste Getreidehalme erzogen werden[1]). Vielmehr stellt sich die Weichheit und Schlaffheit der unteren Halmglieder als die gewöhnliche Erscheinung des Etiolement dar. Denn man kann nach Koch[2]) künstlich durch Beschattung der unteren Teile der Halme das Lagern hervorbringen und die unteren Halmglieder gelagerten Getreides zeigen nach Koch in der That größere Länge, längere und in den Membranen schwächer verdickte Zellen, wie es im etiolierten Zustande zu sein pflegt. Im Einklange damit steht die Erfahrung, daß das Lagern häufiger ist bei dichter Saat, wo die Pflanzen gegenseitig sich beschatten, als bei Drillkultur und weitläufiger Saat, bei außerhalb des Feldes allein wachsenden Halmen aber gar nicht vorkommt, ferner daß das Getreide besonders bei üppiger Entwickelung zum Lagern disponiert ist, weil die zahlreicheren und größeren Blätter und die dickeren Halme beschattend wirken, daher auch der kräftigere Weizen öfter als andre Getreidearten lagert, und auch guter Boden und reichliche organische Düngung, besonders Stickstoffzufuhr[3]), das Übel befördern. Die Gefahr des Lagerns wird durch Eggen, Walzen, sowie durch Abweiden (das sogenannte Schröpfen) verhütet, weil dies die zu üppige Entwickelung der Halme und Blätter hemmt. Darum sieht man auch oft diejenigen Weizenfelder, welche vom Hagel getroffen waren und danach wieder Halme, jedoch in dünnerem Stande, getrieben haben, ganz ohne Lagerung, während die daneben liegenden nicht verhagelten Weizenfelder vollständig lagern können. Mit der obigen Erklärung stimmt endlich auch die Erfahrung überein, daß das Lagern auf Feldern die zwischen hohen Bäumen, Wald oder großen Gebäuden eingeschlossen sind, häufiger ist als in offenen Lagen, desgleichen in gebirgigen Gegenden auf der Thalsohle und an den Hängen häufiger als auf den freien Höhen. Aus dem eben Gesagten ergiebt sich von selbst, wie weit wir im stande sind, das Lagern des Getreides zu verhüten. Gegen das Lagern der Wicken, Erbsen u. dergl. empfiehlt man etwas Mais oder auch Leindotter zwischen zu säen, damit die Pflanzen an diesen Stengeln emporklettern können.

---

[1]) Sachs, Experimentalphysiologie, pag. 150.

[2]) Abnorme Änderungen wachsender Pflanzenorgane durch Beschattung. Berlin 1872.

[3]) Vergl. Ritthausen und Pott, Landwirtsch. Versuchsstationen 1873, pag. 384, und Kreusler und Kern, Centralbl. f. Agrikulturchemie 1876, I., pag. 401.

V. Absterben grüner Teile bei dauernder Verdunkelung derselben.

Dauernde Verdunkelung tötet die grünen Teile.

Wenn man Pflanzen mit grünen Blättern in beständige Dunkelheit setzt oder wenn man auch nur ein Blatt allein oder einen Teil eines solchen mit einer undurchsichtigen Hülle bedeckt, so werden die dem Lichte entzogenen grünen Teile bald gelbfleckig und endlich ganz gelb. Sie zeigen dieselbe Veränderung, wie wenn solche Blätter dem natürlichen Tode am Ende ihres Lebens anheimfallen, was auch unter Gelbfärbung eintritt. Es wird nämlich dabei nicht bloß der Chlorophyllfarbstoff zerstört, sondern auch das aus Eiweißstoffen bestehende Chlorophyllkorn selbst vollständig aufgelöst, und es bleiben in der Zelle kleine, fettartige, gelbe Körnchen zurück, die aus dem das Chlorophyll begleitenden und nicht resorbiert werdenden gelben Farbstoff, dem Xanthophyll, bestehen. Die Pflanzenphysiologen haben diese Thatsache früher so ausgelegt, daß das Licht auch zur Erhaltung des Chlorophylls nötig sei. Wie ich gezeigt habe[1]), ist dies ein Irrtum. Der Lichtmangel als solcher wirkt nicht zerstörend auf das Chlorophyll. Das Verschwinden des letzteren unter jenen Umständen ist nur das gewöhnliche Symptom des Absterbens der Zellen. Denn die meisten Pflanzen geben in dauernder Dunkelheit ihre grünen Blätter, als unter solchen Verhältnissen unbrauchbare Organe, preis, d. h. sie lassen sie absterben, ziehen aber vorher alle wieder verwendbaren Stoffe, darunter auch die Eiweißstoffe und das Chlorophyll, aus ihnen heraus, wie das auch vor dem gewöhnlichen natürlichen Absterben geschieht. Stirbt ein Organ in konstanter Finsternis nicht gleich ab, wie es bei den Blättern vieler Wasserpflanzen, z. B. Elodea, und bei den Koniferen der Fall ist, so bleiben darin auch ebenso lange, oft Monate lang die Chlorophyllkörper unverändert grün. Die einzelnen Pflanzenarten sind hierin in verschiedenem Grade empfindlich: die meisten Mono- und Dikotyledonen, besonders die krautartigen Landpflanzen, wie hauptsächlich Leguminosen, Gramineen u. a. zeigen die Entfärbung schon, wenn sie sehr stark beschattet stehen. Viel widerstandsfähiger sind diejenigen, deren natürlicher Standort im tiefen Waldesschatten und in düsteren Schluchten ist, wie manche Moose und Farne, welche selbst in sehr schwachem Lichte grün bleiben. Pflanzen mit lederartigen oder fleischigen, lange dauernden, immergrünen Teilen behalten ihr Chlorophyll sehr lange in der Dunkelheit, obgleich die während dieser Zeit etwa neu gebildeten Sprosse etiolieren, z. B. Selaginella vier bis

---

[1]) Vergl. mein Lehrbuch d. Botanik I. Leipzig 1892, pag. 644.

fünf Monate[1]), Koniferen und andre immergrüne Pflanzen, die man Winters einzuschlagen pflegt, während des ganzen Winters. Ähnliches zeigen die Sukkulenten; so blieb Cactus speciosus während dreimonatlicher Verdunkelung grün[1]). Endlich haben auch Wasserpflanzen, wie erwähnt, große Widerstandsfähigkeit. So schadet die mehrmonatliche Dunkelheit des Winters der Polarländer den Meeresalgen daselbst nicht[2]). Elodea canadensis erhielt ich 6 Wochen lang im Dunkeln unverändert grün mit Ausnahme der in dieser Zeit neugebildeten Teile, welche vollständig etioliert waren. Spirogyren dagegen verlieren ihr Chlorophyll im Dunkeln bald[3]).

VI. Tödliche Wirkung intensiven Sonnenlichtes.

Beschädigung durch intensives Sonnenlicht.

Auch durch zu starkes Licht können Pflanzenteile getötet werden. Bei den älteren Schriftstellern finden sich darüber folgende Beobachtungen. Schon Bonnet[4]) war es bekannt, daß grüne Blätter vom intensiven Sonnenlichte nichts zu leiden haben, wenn sie in natürlicher Lage, also mit ihrer Oberseite demselben ausgesetzt sind, dagegen beschädigt werden, wenn man sie in einer Lage erhält, wo das Licht direkt auf die Blattunterseite fällt. Batalin[5]) beobachtete, daß die Chlorophyllkörner im direkten Sonnenlichte manchmal blaßgrün, bei manchen Koniferen sogar gelb werden, wobei die ganzen Blätter dieselbe Verfärbung zeigen, daß aber bei Dämpfung des Lichtes nach einigen Tagen die rein grüne Färbung wiederkehrt. Böhm[6]) hat sogar eine tiefere Störung durch sehr intensives Licht an den Blättern der Feuerbohne bemerkt; dieselben wurden dadurch zuerst gebleicht, dann gebräunt, endlich zerstört, indem an den gebräunten Stellen die Mesophyllzellen der insolierten Blattseiten mit einer braunen Substanz erfüllt waren.

Selbst angenommen, daß es sich in allen diesen Fällen um rein Lichtwirkungen, nicht um Beschädigungen durch Hitze handelte, bleibt es ungewiß, inwieweit daran die beiden neuerdings sicher festgestellten Wirkungen hellen Lichtes auf die Chlorophyllkörper beteiligt waren.

---

[1]) Sachs, Experimentalphysiologie, pag. 15.

[2]) Vergl. Bot. Zeitg. 1875, pag. 771.

[3]) Famintzin, Mélanges biologiques. Pétersbourg 1866. T. VI, pag. 94.

[4]) Nutzen der Blätter bei den Pflanzen. Übersetzung von Adolf Nürnberg 1762, pag. 52.

[5]) Botan. Zeitg. 1874. Nr. 28. Vergl. auch Askenasy, daselbst 1875, Nr. 28.

[6]) Landwirtsch. Versuchsstationen 1877, pag. 463.

Wir wissen erstens, daß das Licht die Lagenverhältnisse der Chlorophyllscheiben in den Zellen beeinflußt, im allgemeinen in dem Sinne, daß diese Körperchen im intensiven Lichte die der Oberfläche des Blattes parallelen Zellwände verlassen und an den dazu rechtwinklig stehenden sich ansammeln, was von Böhm, Famintzin, Borodin, mir und Stahl näher studiert worden ist. Es hat dies zur Folge, daß die Blätter bei starker Insolation eine blasser grüne Farbe annehmen, so daß man, wie Sachs zuerst gezeigt hat, eine Art Lichtbild an den Blättern herstellen kann, wenn man über gewisse Stellen eines von der Sonne beschienenen Blattes dunkle Papierstreifen legt, indem dann diese Stellen dunkler grün aussehen, als die besonnten. Wir müssen bezüglich dieser Erscheinung hier auf die Pflanzenphysiologie verweisen[1]), denn sie hat keinen pathologischen Charakter; sie ist reparabel, denn sobald die Beleuchtung an Intensität verliert, kehren die Chlorophyllscheiben wieder in ihre normale Stellung zurück; der Vorgang darf als ein natürliches Schutzmittel, um die Chlorophyllscheiben gegen zu intensive Beleuchtung zu schützen, betrachtet werden. Zweitens kennen wir aber auch eine direkt das Chlorophyll, d. h. den grünen Farbstoff zerstörende Wirkung des intensiven Sonnenlichtes. Manche Physiologen, wie namentlich Wiesner[2]), sind freilich der Ansicht, daß Chlorophyll stetig wieder aufgelöst werde und daß die Neubildung desselben ein unter normalen Umständen neben dem andern herlaufender Prozeß sei, so daß, wenn der Neubildungsprozeß aus irgend einem Grunde gehindert wird, Entfärbung der Pflanze eintreten müsse. Diese Ansicht ist jedoch nicht bewiesen, ja wegen mancher Thatsachen sogar unwahrscheinlich. Nun hat aber Pringsheim[3]) gezeigt, daß durch konzentriertes Sonnenlicht Chlorophyll in der lebenden Zelle wirklich zerstört wird, und auch, aus welchem Grunde. Wenn man chlorophyllhaltige Zellen in die im Brennpunkt einer Linse vereinigten Sonnenstrahlen bringt, die vorher durch eine die Wärmestrahlen absorbierende Flüssigkeitsschicht gegangen sind, so tritt in den Zellen zunächst Sistierung der Protoplasmabewegung, dann Entfärbung des Chlorophylls und endlich der Tod ein; da nun aber diese Wirkung nur bei Gegenwart von Sauerstoff, nicht in indifferenten Gasen eintritt, so handelt es sich nicht um eine Tötung durch Er-

---

[1]) Mein Lehrbuch d. Botanik I, pag. 286.

[2]) Beziehungen des Lichtes zum Chlorophyll. Sitzungsber. d. Wiener Akad. 16. April 1874, pag. 56, und die Entstehung des Chlorophylls. Wien 1877.

[3]) Jahrb. f. wissensch. Botanik 1879, pag. 326, und Monatsberichte d. Akad. d. Wissensch. Berlin 16. Juni 1881.

hitzung, sondern um eine spezifische Lichtwirkung, die in einer durch den Sauerstoff bewirkten Zerstörung besteht. Ob eine derartige Beschädigung von selbst im Freien vorkommt, muß dahingestellt bleiben, denn die etwa wie lichtbrechende Linsen auf den Blättern wirkenden Tau- oder Regentropfen konzentrieren zugleich die Wärmestrahlen und könnten daher wohl eher verbrennend wirken. Aber es wäre denkbar, daß manche Pflanzen- oder Pflanzenteile schon gegen ein minder konzentriertes Licht empfindlich sind, und daß sich daraus vielleicht manche der eingangs erwähnten Beschädigungen, sowie die Empfindlichkeit der Schattenpflanzen gegen sehr sonnige Standorte erklären.

---

2. Kapitel.

Die Temperatur.

Der Gesundheitszustand der Pflanze kann gestört werden durch Einwirkungen der Temperatur. Dieser Fall tritt ein: 1. wenn das die Pflanze umgebende Medium bis zu denjenigen Temperaturgraden sich erwärmt oder abkühlt, welche überhaupt das Leben vernichten, 2. wenn die Temperatur innerhalb ihrer für das Pflanzenleben geeigneten Grenzen beträchtlich von demjenigen Grade entfernt ist, welcher für den normalen Verlauf der einzelnen Lebensprozesse der günstigste ist.

Wirkungen der Temperatur.

A. Tötung durch Hitze.

Wenn eine tödliche hohe Temperatur auf Pflanzen einwirkt, so sterben entweder alle Organe der Pflanze oder nur gewisse Teile oder es werden nur einzelne Stellen derselben beschädigt, je nach der Empfindlichkeit der Teile oder der ungleichen Exponierung derselben. Es giebt daher verschiedene Erscheinungen, welche als unmittelbare Folgen der Einwirkung zu hoher Temperatur zu betrachten sind.

Tötung durch Hitze.

1. Befinden sich in Vegetation begriffene Pflanzen ganz in einem zu stark erwärmten Raume, so ist ihr Tod die Folge. Die Todessymptome zeigen sich dann schneller oder langsamer, spätestens in wenig Tagen, auch wenn die Pflanze inzwischen wieder in normale Temperatur gebracht worden ist. Sie zeigen sich am auffallendsten an saftreichen Teilen. Gewöhnlich bemerkt man sie bei kurz andauernder Erhitzung zuerst an eben erwachsenen Blättern, während die jüngeren noch unentwickelten Blätter länger, alte Blätter, Blattstiele und Internodien noch etwas länger widerstehen. Die Zellen verlieren ihren Turgor; sie lassen Zellsaft in die Intercellulargänge austreten und schützen ihn auch nicht mehr vor Verdunstung; das Protoplasma verliert seine

Empfindlichkeit vegetierender Pflanzen.

Bewegung und Organisation, es nimmt, wenn die Zelle farbigen Saft enthält, den Farbstoff auf und läßt ihn aus dem Pflanzenteile, sobald dieser in Wasser gelegt wird, austreten. Aus diesen Veränderungen der Zellen resultiert die bekannte Beschaffenheit aller durch Hitze getöteten saftreichen Pflanzenteile: ihre Schlaffheit und Weichheit, das leichte Austreten des Saftes aus solchen Teilen (besonders saftreichen, wie Sukkulenten, Zwiebeln u. dergl.) bei Einwirkung von Druck, die durchscheinende Beschaffenheit (infolge der Erfüllung der Intercellulargänge mit Saft), das rasche Welkwerden und Vertrocknen.

Der tödlich wirkende Temperaturgrad ist für Landpflanzen verschieden, je nachdem dieselben in Luft oder Wasser sich befinden; in ersterer höher als in letzterem. Nach Sachs[1]) ist für erwachsene Pflanzen oder Zweige von Nicotiana rustica, Cucurbita Pepo, Zea Mais, Mimosa pudica, Tropaeolum majus, Brassica Napus, Papaver somniferum, Phaseolus vulgaris, Tanacetum vulgare, Cannabis sativa, Solanum tuberosum, Lupinus polyphyllus, Allium Cepa, Morus alba in Luft eine Temperatur von 50—52° C. binnen 10—30 Minuten, in Wasser schon 45—46° C. binnen 10 Minuten tödlich; letztere auch für die Wasserpflanzen Ceratophyllum, Chara und Cladophora. Lemna trisulca soll nach Scheltinga[2]) erst bei 50—55° C. binnen 10 Minuten getötet werden. Nach H. de Vries[3]) sind für oberirdische Teile von Zea Mais, Phaseolus, Brassica &c. nach 1/4 Stunde in Wasser 43,9 bis 44,1° C. unschädlich, aber 45,3—45,8° C. tödlich, für die Wurzeln genannter Pflanzen in Erde nach 1/2 Stunde 50—52° C. und in Wasser 45—47,3° C. eben noch unschädlich; den Wurzeln von Citrus Aurantium nach 1/2 Stunde 46,5° C. unschädlich, 50—50,5° C. tödlich, für die oberirdischen Teile derselben 50—50,3° C. unschädlich, 52,2 bis 52,5° C. tödlich; ferner belaubten Zweigen von Taxus, Saxifraga umbrosa, Erica, Hedera, Salisburia 10 Minuten lang 48,5° C. unschädlich, 51—52° tödlich; Laub- und Lebermoosen eine halbstündige Erwärmung in Wasser auf 40—46° C. unschädlich, auf 46—47° tödlich. Bialoblocki[4]) fand eine konstante Bodentemperatur von 50° C. den Wurzeln von Roggen, Gerste und Weizen nach ein bis mehreren Tagen immer tödlich. Gewisse in Thermen vegetierende Oscillarien

---

[1]) Experimentalphysiologie, pag. 64—65.

[2]) Citiert in Just, Bot. Jahresb. für 1876, pag. 719.

[3]) Nederl. Kruidk. Arch. II. ser. I. 1871, citiert in Bot. Zeit. 1872, pag. 781.

[4]) Über den Einfluß der Bodenwärme auf die Entwickelung einiger Kulturpflanzen. Dissertation 1872.

sollen nach Cohn[1]) daselbst 31—44° C., Leptothrix lamellosa sogar 44—54° lebend ertragen. Andre gewöhnliche Chlorophyllalgen, Spirogyren und Phycochromaceen wurden nach de Vries (l. c.) bei 42,8—44,2° C. beschädigt.

Empfindlichkeit trockener Samen und Sporen.

2. Trockene Samen und Pilzsporen zeigen nach Einwirkung von Hitze die tödliche Wirkung in dem Verluste der Keimfähigkeit. Im trockenen Zustande widerstehen sie aber viel höheren Wärmegraden als die saftigen Pflanzenteile. Nach Sachs[2]) verlieren lufttrockene Samen ihre Keimfähigkeit infolge einstündiger Erwärmung, und zwar Gerste und Mais bei 64—65° C., Roggen und Weizen bei 67—68° C., Erbsen bei 71—73° C., während im gequollenen Zustande Samen derselben Pflanzen schon bei 51—52° C. dieses Schicksal haben. Aber noch weit höhere Grade ertragen die Samen ohne Schaden, wenn ihnen durch allmähliche Erwärmung mit Chlorcalcium immer mehr Wasser entzogen worden ist. Krasan[3]) hat dies für Weizenkörner nachgewiesen, welche er in dieser Weise 46 Stunden auf 50—56¼ C. und so allmählich fortschreitend zuletzt 11 Stunden lang auf 72° erwärmte, wodurch sie endlich 12 Prozent Wasser verloren aber ihre Keimfähigkeit behalten hatten; sogar vierstündige Erhitzung auf 100° war solchen Körnern nicht tödlich. Just[4]) fand für so behandelte Samen von Trifolium pratense sogar erst 120° C. tödlich, während niedere Temperaturen die Keimfähigkeit nicht vernichteten; jedoch blieben solche Samen nur am Leben, wenn ihnen dann das entzogene Wasser sehr langsam wieder zugeführt wurde, verloren aber die Keimfähigkeit bei schneller Befeuchtung. Auch Fichtensamen ertragen nach Velten[5]) + 80° C. eine Stunde ohne Verlust der Keimfähigkeit. Ähnliche Angaben finden sich bei Höhnel[6]).

Auch Pilzsporen haben im trockenen Zustande eine große Widerstandsfähigkeit gegen hohe Temperaturen, während sie im wasserdunstgesättigten Raume oder im Wasser schon durch niedrigere Wärmegrade getötet werden. Nach Pasteur[7]) bleiben Sporen von Penicillium glaucum in trockener Luft bei 108° C. am Leben, verlieren vielfach bei 119—121°, alle rasch bei 127—132° ihre Keimfähigkeit, ertragen aber in Flüssigkeit eine Erwärmung

---

[1]) Flora 1862, pag. 338. Vergl. auch Sachs, Flora 1864, Nr. 1, und Hoppe-Seyler, Pflüger's Archiv f. Physiologie 1875, pag. 118.

[2]) Experimentalphysiologie, pag. 66.

[3]) Sitzungsber. der Wiener Akademie 1873.

[4]) Verhandl. der Naturforscher-Versammlung zu Breslau 1874.

[5]) Sitzungsber. der Wiener Akademie Juli 1876.

[6]) Haberland's wissensch.-prakt. Untersuchungen 1877. II, pag. 77.

[7]) Examen de la doctrine des gén. spontanées. (Ann. Chim. 3. sér. T. 64; auszüglich in Flora 1862, pag. 355.)

von 100° nicht lebend. Die Sporen von Peziza repanda sollen nach Schmitz[1]) im Wasser 63,75°, trocken 137,5° ertragen. Auch Payen[2]) fand Sporen von Oidium aurantiacum nach Erwärmung auf 120° noch keimfähig, bei 140° aber getötet. Ebenso ertragen nach Hoffmann[3]) die Sporen von Ustilago Carbo und U. destruens im Trocknen 104—120° ohne Schaden; im wasserdunstgesättigten Raume werden die ersteren zwischen 58,5 und 62°, die letzteren zwischen 74 und 78° binnen einer Stunde getötet. Nach Tarnowsky[4]) sollen Sporen von Penicillium glaucum und Rhizopus nigricans, in Luft 1—2 Stunden auf 70—80° C. erwärmt, nur noch selten, auf 82—84° erhitzt aber gar nicht mehr keimen, und in Flüssigkeit bei 54—55° ihre Keimfähigkeit verlieren; auch nach Schmitz ertragen die Sporen von Penicillium im Wasser höchstens 61°. — Hefezellen werden nach Hoffmann[5]) in Flüssigkeit durch 60—74° C. noch nicht, wohl aber durch höhere Erwärmung getötet; trockene Hefe soll jedoch bis 150° erhitzt werden können, ohne die Fähigkeit, Gärung zu erregen, zu verlieren.

Ähnliches gilt auch von den Spaltpilzen. Cohn[6]) fand, daß eine Erwärmung der Flüssigkeit 20 Minuten lang auf 100° C., desgleichen eine einstündige auf 60—62° Fäulnisbakterien tötet, nicht aber eine dreistündige Einwirkung von 40—50°. Nach Eidam[7]) ist vierzehnstündige Erwärmung bei 54° C. oder dreistündige bei 50° für Bacterium Termo tödlich. Cohn und Pasteur[8]) haben gefunden, daß es bei gewissen Bacillenformen die Sporenzustände derselben sind, welchen eine große Widerstandsfähigkeit gegen Hitze zukommt. Pasteur giebt die äußerste Widerstandsgrenze für die Schizomyceten der Milchsäuregärung auf 105° C. an; und nach Wymann[9]) sollen Bakterien in Flüssigkeiten sogar die Siedehitze in einer Dauer von 15 Minuten bis 4 Stunden ohne Schaden, jedoch 5—6 Stunden lang nicht mehr ertragen. Genügend lange Dauer der Erwärmung hat aber schon bei niederen Temperaturgraden den Tod zu Folge; doch reicht manchmal eine drei- bis viertägige Erwärmung der Flüssigkeit auf 70—80° C. nicht hin, um die Bacillen zu töten. Wegen dieser großen Widerstandsfähigkeit der Spaltpilze gegen Hitze beruht das sogenannte Sterilisieren (Befreien von Pilzkeimen) von Flüssigkeiten u. dergl. auf einem mehrstündigen Kochen oder Verweilen derselben im Dampfsterilisierungsapparate bei Siedehitze.

Lokale Beschädigung durch Sonnenbrand.

3. Als lokale Beschädigungen durch Sonnenbrand an erwachsenen vollkommeneren Pflanzen sind mancherlei Erscheinungen gedeutet worden, ohne daß dafür immer ein genügender Nachweis

[1]) Verhandl. d. naturh. Vereins f. Rheinlande ꝛc. 1845.

[2]) Compt. rend. T. 27, pag. 4.

[3]) Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot. II, pag. 267.

[4]) Sachs, Lehrb. d. Bot. 4. Aufl., pag. 699.

[5]) Compt. rend. T. 63. (1866), pag. 929. — Vergl. auch die ähnlichen Resultate E. Schumacher's u. Wiesner's in Sitzungsber. d. Wiener Akademie 11. Juni 1874.

[6]) Beiträge z. Biologie d. Pfl. 2. Heft (1872), pag. 219.

[7]) Verhandl. d. Naturforscher-Versammlung 1874.

[8]) Ann. de chim. et de physique 1862, 3. sér. T. 64, pag. 90.

[9]) Hoffmann's Mykologische Berichte in Bot. Zeitg. 1869, pag. 227.

beigebracht worden wäre. Sogar Effekte, welche unzweifelhaft nicht einmal indirekt durch stärkere Erwärmung veranlaßt werden, wie verschiedene Fleckenkrankheiten der Blätter, hat man so erklären wollen[1]). Aber es sind hier auch alle Erscheinungen von Sommerdürre auszuschließen, weil diese auf einem Mißverhältnis zwischen Wasseraufnahme und Verdunstung beruhen, von der Temperatur als solcher unabhängig sind. Das sogenannte Verbrennen der Blätter in Gewächshäusern, wobei gelbe oder braune vertrocknete Flecken, welche durch die ganze Dicke des Blattes gehen, auftreten, findet statt, wenn Wassertropfen auf den Blattflächen sich befinden und dieselben durch die Sonne soweit erhitzt werden, daß eine Tötung der Blattsubstanz stattfindet, wie Neumann[2]) beobachtete, der solche Flecken an den Blättern von Dracaena und Cordyline binnen wenigen Minuten entstehen sah, nachdem sie bespritzt waren und von der Sonne beschienen wurden, wobei die Flecken unter den Tropfen sich bildeten. Bedingung ist eine unbewegte Lage des Blattes; daher soll es besonders eintreten, wenn die Gewächshäuser geschlossen sind, nicht wenn die Thüren geöffnet sind und die Blätter durch Luftzug bewegt werden. Jönsson[3]) hat dies experimentell bestätigt und noch weiter beobachtet, daß auch die im Glase der Gewächshäuser befindlichen Blasen in derselben Weise auf die Blätter wirken können, indem er das dadurch auf den Blättern hervorgebrachte Sonnenbild in seinem Fortschreiten verfolgen konnte, womit es zusammenhängt, daß solche Brennflecken gewöhnlich in regelmäßigen Linien stehen. Natürlich werden auch die an den Glasflächen hängenden Wassertropfen in gleichem Sinne wirken können. Der tödlich wirkende Temperaturgrad ist dabei freilich nicht ermittelt worden. Daß aber Pflanzenteile, die von intensivem Sonnenlichte getroffen werden, stärker als die umgebende Luft sich erwärmen, hat Askenasy[4]) an Sempervivum und Opuntia beobachtet, welche dabei 43—49, selbst 51—52° C. annahmen, ohne geschädigt zu werden, während dünnere Blätter, z. B. von Gentiana cruciata, gleichzeitig nur bis 35° C. sich erwärmten. Da die erstgenannten Grade in der Nähe derjenigen Temperatur liegen, welche nach Sachs im Wasser tödlich ist, so wäre, wenn die Blätter bei solcher Erwärmung benetzt sind, eine Tötung nicht undenkbar, auch wenn die Tropfen nicht gerade wie Brenngläser

[1]) Decandolle, Physiologie végétale III, pag. 1113.

[2]) A ansonia 1860—62, pag. 320, im Auszuge in Hamburger Gartenzeitung 1863, pag. 163.

[3]) Über Brandflecke auf Pflanzenblättern. Refer. in Zeitschrift f. Pflanzenkrankheiten II, 1892. pag. 358.

[4]) Bot. Zeitg. 1875, Nr. 27.

wirken sollten. — Der durch verschiedenartige äußere Verletzungen verursachte Samenbruch der Weinbeeren (s. Hagelschäden) kann nach Hoffmann[1]) auch durch die Sonnenstrahlen bewirkt werden, wenn dieselben durch Wassertropfen, die an der Beere hängen, wie durch eine Linse auf der Oberfläche der Schale im Brennpunkte vereinigt worden sind und eine Tötung der getroffenen Stelle der Beere hervorgebracht haben. Ein völliges Vertrocknen der Trauben durch Sonnenbrand beobachtet man in Jahren mit ungewöhnlicher Hitze im August nicht selten in den Weinbergen an solchen Trauben, welche nicht durch Blätter geschützt, sondern direkt der Sonne exponiert sind; an denselben sind dann die Beeren förmlich wie Rosinen gedörrt. Müller-Turgau[2]) fand in der That die Temperatur in der besonnten Weinbeere bis auf 40° C. steigen, wenn daneben in der Sonne 36°, und im Schatten 24° C. beobachtet wurden. Derselbe hat auch nachgewiesen, daß die Wärme dabei das wirksame ist, indem die gleichen Erscheinungen auch in einem erwärmten dunkeln Blechkasten zu beobachten waren. Unreife Beeren sind empfindlicher als reife.

Sonnenrisse.

Durch Insolation sollen nach de Jonghe[3]) Sonnenrisse in der Rinde der Obstbäume entstehen, wo die Rinde der Länge nach aufberstet und zu beiden Seiten des Risses sich auf mehrere Centimeter Breite vom Holze loslöst, und zwar im Frühjahre, besonders am unteren Teile des Stammes, immer auf der der Sonne zugekehrten Seite, welche den direkten Sonnenstrahlen von 11 Uhr vormittags bis 2 Uhr nachmittags ausgesetzt ist. Ein Bedecken dieser Seiten mit Stroh soll das Aufreißen verhüten. Auch bei Waldbäumen ist die Erscheinung bekannt, besonders an Buchen, Hainbuchen, Eichen und Ahorn[4]). Über die bei der Entstehung der Sonnenrisse wirksamen Faktoren besteht jedoch noch keine genügende Klarheit. Da die Erscheinung nur im März auftreten soll, so muß, wie schon Caspary[5]) hervorhob, wohl den Spätfrösten hierbei ein gewisser Einfluß zugeschrieben werden, indem sie in der saftreich gewordenen Cambiumschicht ein Gefrieren bewirken, welches ein Absprengen der Rinde vom Holze zur Folge hat, worauf vermutlich die von der Saftzuleitung ausgeschlossene Rinde durch die Sonnenhitze vertrocknet und berstet.

---

[1]) Bot. Zeitg. 1872, Nr. 8.

[2]) Der Weinbau 1883, Nr. 35.

[3]) Bot. Zeitg. 1857, Nr. 10.

[4]) Vergl. Nördlinger, Lehrbuch des Forstschutzes 1884, pag. 332, und R. Hartig, Lehrbuch der Baumkrankheiten. 2. Auflage, Berlin 1889, pag. 286.

[5]) Botan. Zeitg. 1857, Nr. 10.

Nach Caspary[1]) soll jedoch auch erst im August die Entstehung von Sonnenrissen an den der Mittagssonne ausgesetzten Seiten bemerkt worden sein, was der Genannte als eine unmittelbar tödliche Wirkung der Sonnenhitze auffaßt. Die Vermutung ist aber auch hier nicht ausgeschlossen, daß ein früher eingetretener Frosttod der Rinde erst bemerkt worden ist, nachdem in der heißen Jahreszeit die Austrocknung der toten Partien bis zum Bersten fortgeschritten war. R. Hartig (l. c.) hält es für wahrscheinlich, daß die Insolation den Rindenkörper partiell so erwärmt, daß dieser sich stark ausdehnt und somit von dem Holzkörper sich ablösen muß. Daß bei sehr starker Insolation die Rinde eines Baumstammes bis zum tödlichen Temperaturgrade erwärmt werden kann, ist allerdings nicht undenkbar; freilich wird dann aber auch starke Transpiration, also übermäßiger Wasserverlust der insolierten Rindenpartien möglicherweise tödlich sein können. Die Erscheinung hat offenbar auch gewisse Beziehung zu dem Rindenbrand, den wir unten bei den Frostschäden besprechen. Die Sonnenrisse werden oft durch Überwallung nach einigen Jahren wieder geschlossen.

B. Wirkungen des Frostes.

I. Das Gefrieren der Pflanzen.

Wirkungen des Frostes. Das Gefrieren der Pflanzen.

Ein Erstarren der Pflanzensäfte zu Eis ist zu erwarten, wenn die Temperatur des umgebenden Mediums auf 0° gesunken ist. Jedoch muß dies nicht notwendig genau mit dieser Temperatur zusammenfallen. Denn die Pflanzenteile sind infolge von Wärmestrahlung und Verdunstung in freier Luft gewöhnlich etwas kälter als diese (wie Tau- und Reifbildung auf den Pflanzen beweisen) und können also, wenn die Luft noch wenige Grade über 0° hat, schon unter den Gefrierpunkt abgekühlt sein. Allein die Pflanzensäfte sind nicht reines Wasser, sondern mehr oder minder konzentrierte Lösungen, und solche gefrieren erst bei einigen Graden unter 0°[2]), und wenn sie gefrieren, so scheiden sie sich in fast reines Wasser, welches erstarrt, und in eine konzentriertere Lösung, welche dies erst bei noch stärkeren Kältegraden thut. Beim Beginn des Gefrierens des Wassers zu Eis wird zunächst die Temperatur des Pflanzenteiles wieder etwas höher, weil bei der ersten Eisbildung Wärme frei wird. Übrigens ist in trockeneren Pflanzenteilen kein oder nur wenig Zellsaft in den Zellen vorhanden; fast alles Wasser befindet sich im imbibierten Zustande in der Zellhaut,

[1]) Verhandl. d. phys.-ökon. Gesellsch. zu Königsberg 1858.

[2]) Vergl. Nägeli, Sitzungsber. d. bair. Akad. d. Wissensch. 9. Febr. 1861, und Müller-Turgau, Landwirtsch. Jahrbücher 1886, pag. 459 ff.

im Protoplasma und in dessen geformten Inhaltskörpern, und auch von diesem Wasser gefriert bei bestimmten Kältegraden nur ein Teil, der andere wird als Imbibitionswasser zwischen den Molekülen dieser Organe festgehalten. Ist nun aber dieses Imbibitionswasser nur in geringer Menge vorhanden, so kann überhaupt nur eine sehr unbedeutende oder gar keine Kristallisation zu Eis eintreten. Jedenfalls lassen auch bei den strengsten Kältegraden alle trockeneren Pflanzenteile, wie die Winterknospen und Zweige der Holzpflanzen und die Samen keine Veränderung im Sinne eines Gefrierens wahrnehmen und es sind nur saftreichere Organe, wie die Stengel und Blätter der Kräuter, das Laub der Holzpflanzen, Knollen, Zwiebeln und sukkulente Pflanzen, welche auffallend gefrieren. Wir betrachten zunächst die beim Gefrieren auftretenden Erscheinungen.

Eisbildung in der Pflanze.

1. Eisbildung. Beim Gefrieren werden saftige Pflanzenteile infolge der in ihnen stattfindenden Eisbildung hart und glasig spröde. Werden die Teile plötzlich starken Kältegraden ausgesetzt, so erstarren sie durch und durch gleichmäßig zu steinharten Körpern. Wesentlich anders ist die Eisbildung, wenn die Pflanzenteile allmählich bei geringen Kältegraden (1—4° C.) gefrieren, wie dies in unserem Klima im Freien bei Eintritt von Frost gewöhnlich der Fall ist. Hier bilden sich Eismassen zwischen den Zellen, wodurch die Gewebe zerklüftet werden, während die Zellen, weil Wasser aus ihnen ausgetreten und dann zu Eis erstarrt ist, mehr oder weniger zusammenschrumpfen, jedoch selbst nicht gefrieren. Diese Bildung zusammenhängender Eismassen in gefrierenden Pflanzen ist den Beobachtern schon vor langer Zeit aufgefallen, eingehender aber zuerst von Caspary[1]), später von Prillieux[2]) untersucht worden. Nach diesen und meinen Beobachtungen tritt diese Eisbildung am häufigsten und stärksten an solchen Pflanzen auf, welche für den Winterzustand nicht vorbereitet, sondern noch in Vegetation begriffen sind, daher besonders an krautartigen Spätlingen und an exotischen Stauden im freien Lande, anderseits aber auch im Frühlinge an Pflanzen, die bereits in Saft getreten sind oder zu treiben begonnen haben, also überhaupt an solchen, die reich an Saft sind und denen solcher auch fortwährend durch die Wurzelthätigkeit zugeführt wird. Übereinstimmend ist überall, daß die Eismasse wenigstens anfangs, meist für immer, innerhalb des Pflanzenteiles sich befindet und aus Eiskristallen besteht, welche mit einander parallel und mehr oder minder zusammenhängend, stets rechtwinklig

[1]) Botan. Zeitg. 1854, Nr. 38—40, wo auch die ältere Literatur zu finden ist.

[2]) Ann. des sc. nat. 5, sèr. T. XII. 1869, pag. 125.

auf demjenigen Gewebe stehen, aus welchem das Wasser ausfriert. Die Kristalle sind fast reines Wasser, auch wo die Zellensäfte gefärbt sind, farblos. An welchem Orte die Eismassen sich bilden, hängt von dem anatomischen Bau des Pflanzenteiles ab.

Der gewöhnlichste Fall bei Stengeln und Blattstielen ist, wie Prillieux schon angegeben hat, der, daß im Rindenparenchym, bald unmittelbar unter der Epidermis bald tiefer eine mit der Oberfläche konzentrisch liegende Eiskruste von ansehnlicher Stärke sich bildet, durch welche die Epidermis und die etwa mit abgetrennten äußeren Rindenschichten wie ein weiter Sack abgehoben und nicht selten gesprengt werden. Es ist unverkennbar, daß das grüne Rindenparenchym wegen der Anwesenheit vieler Intercellulargänge und wegen der leichten Trennbarkeit der einzelnen Zellen für die Entstehung dieser intercellularen Eismassen besonders günstig ist. An den Punkten, wo die Epidermis durch collenchymatische oder ähnliche feste Gewebe mit dem Innern fester zusammenhängt, ist die peripherische Eislage unterbrochen. So haben nach Prillieux der Stengel von Senecio crassifolius 5, die Stengel der Labiaten 4, nämlich an den vier Seiten liegende, die meisten Blattstiele 3 solcher Eisplatten unter der Oberfläche, nämlich eine an der rinnenförmigen oder flachen Oberseite, je eine an den beiden Hälfte der konvexen Unterseite. Dagegen bekommen die Stengel der Scrofulariaceen eine ringförmig zusammenhängende Eisschicht; und am Stengel von Borago officinalis finde ich viele ungleich große, nur durch dünne Schichten von Rindenparenchym getrennte dicke Platten neben einander einen ringförmigen Eismantel bildend (Fig. 25). Ich habe mich von der Richtigkeit der Angabe Prillieux's überzeugt, daß bei diesem Gefrieren die Zellen dort, wo die Eisklüfte im Gewebe sich bilden, nur auseinanderweichen, aber nicht zerrissen werden (vergl. Fig. 25 e und 26 C.). Die von Caspary untersuchten Pflanzen, welches meist kleine exotische Sträucher mit stark entwickeltem Holzkörper waren (Heliotropium peruvianum, Cuphea pubiflora u. a. Arten, Lantana abyssinica und aculeata, Manulea oppositifolia, Calceolaria perfoliata) zeigten ihm das Eis unmittelbar auf dem Holzcylinder aufsitzend, zwischen diesem und der Rinde, die dadurch vom Holze getrennt und verschiedenartig gesprengt war. Auch hat derselbe[1]) im Frühjahre an einheimischen Bäumen bei plötzlich eintretendem Frost ein Gefrieren des Saftes im Cambium und ein Absprengen der Rinde vom Holze beobachtet. In Übereinstimmung damit fand auch Sorauer[2]),

[1]) Bot. Zeitg. 1857, pag. 153. Das Gleiche wird schon von Du Petit-Thouars (Le verger français, Paris 1817) ausgesprochen.

[2]) Pflanzenkrankheiten. 2. Aufl. I., pag. 424.

nachdem er Zweige von Obstbäumen Ende Mai mit künstlichen Kältemischungen behandelt hatte, an einzelnen Stellen Rinde und Cambium vom Holze gelöst und in das letztere radiale Spalten von diesen Stellen aus eindringen, auch innerhalb des Rindenparenchyms die Zellen in radialen Spalten auseinander gewichen. Ein zweiter Ort der Eisbildung in Stengeln und Blattstielen, der gleichfalls von Caspary und Prillieux schon genannt wird, ist das Mark. Wo dieses massiv ist, bilden sich oft mehrere Eispartien, welche das Gewebe unregelmäßig der Länge und der Quere nach zerklüften. In hohlen Stengeln füllt sich oft die

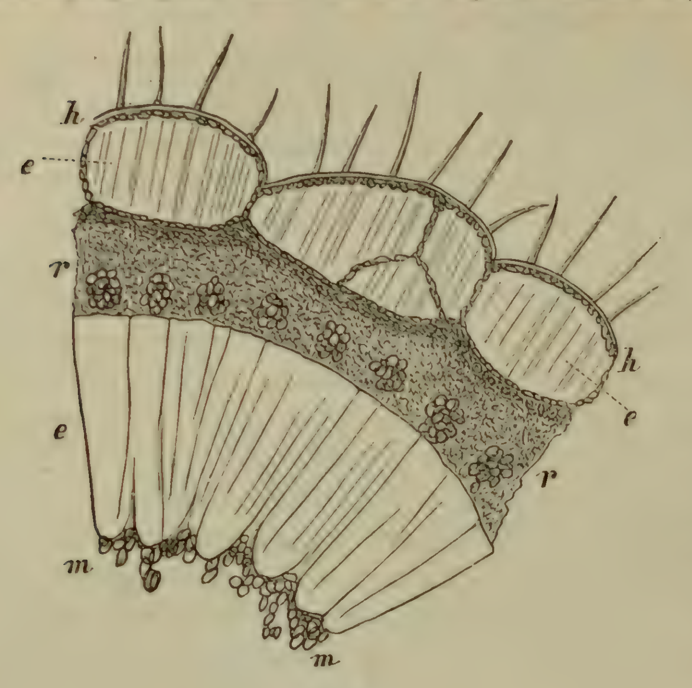
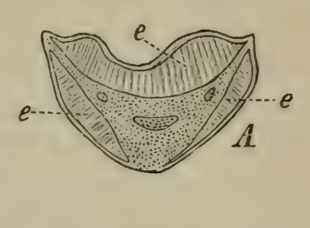


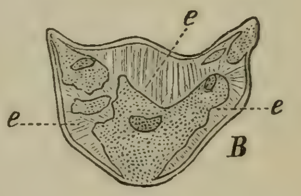
Fig. 25.

Gefrorener Stengel von Borago officinalis, ein Stück desselben im Querschnitte, r Rinde mit dem Gefäßbündelringe, h behaarte Oberhaut, nebst Partien der Rinde durch mächtige, radial gestreifte Eisplatten ee, die einen ringsum laufenden Eismantel bilden, abgehoben. Die Höhlung des Stengels auf der Innenseite von r ist mit einem aus dichtstehenden Eiskristallen gebildeten starken Hohlcylinder von Eis e ausgekleidet; auf den Spitzen dieser Eiskristalle die bis dorthin geschobenen Markzellen mm, welche auf der Innenseite von rr gesessen hatten. Schwach vergrößert.

Markhöhle mehr oder weniger mit Eis, welches in einer ringförmig zusammenhängenden Kruste die Wand der Höhle bedeckt; so finde ich in gefrorenen Stengeln von Borago officinalis im Innern einen solchen sehr starken Hohlcylinder gebildet aus dichtstehenden Eiskristallen, welche von dem Gefäßbündelringe ausgehen und radial gegen die hohle Mitte gerichtet sind, die leeren und abgestorbenen Zellen, mit welchen normal die Markhöhle ausgekleidet ist, bis dorthin vor sich herschiebend (Fig. 25m). Durch solche Anhäufungen von Eis im Mark kann endlich der Holzring gesprengt werden, was Cas-

pary[1]) und ältere Beobachter gesehen haben. Wenn im Markgewebe noch einzelne Gefäßbündel zerstreut stehen, so schießt auch um jedes eine ringförmige Eiskruste an, wie Sachs[2]) von gefrorenen Blattstielen von Cynara Scolymus angiebt. Blattstiele, die hauptsächlich aus zartem Parenchym bestehen, in welchem nur wenige und feine Fibrovasalstränge verlaufen, können, während die Epidermis abgehoben oder stellenweise gesprengt ist, auch innerlich sehr tief der Quere und der Länge nach von dem sich bildenden Eis zerrissen werden. Die Verwundungen können dann dadurch noch vergrößert werden, daß die teilweise befreiten Parenchymstücke infolge der Gewebespannung sich nach außen konkav krümmen, zum Beweise, daß sie selbst dabei nicht gefroren sind. So bemerkte ich es an Stielen der Wurzelblätter von Lychnis diurna zu Ende des Winters nach schwachem Nachtfroste.





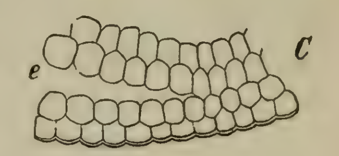


Fig. 26.

Gefrorene Blattstiele von **Lychnis diurna, A** und **B** im Querschnitte, schwach vergrößert. e die Eismassen, durch welche die oberflächlichen Zellschichten vom inneren Gewebe abgehoben sind, das letztere auch stellenweise zerrissen ist. C stärker vergrößerter Durchschnitt durch eine Stelle des äußeren Teiles des Blattstieles, wo eine Eisbildung beginnt; dieselbe zeigt sich deutlich zwischen den Zellen, die hier nur auseinandergewichen, nicht zerrissen sind.

Eine andere eigentümliche Art der Bildung von Eisplatten in Blattstielen hat v. Mohl[3]) beschrieben; er fand, daß im Herbst bei Nachtfrösten an den Blattpolstern der Baumblätter in der ganzen vorgebildeten Trennungsschicht eine Eisplatte sich bildet, durch welche das Blatt abgegliedert wird, so daß am Morgen massenhafter Blattfall eintritt.

In den gewöhnlichen dünnen Blattflächen der meisten Pflanzen ist die Eisbildung minder auffallend, obgleich auch diese Teile bei Frost erstarren. Ich fand in gefrorenen Blättern krautartiger, mono- und dikotyledoner Pflanzen verhältnismäßig dünne Eiskrusten meist zwischen der Epidermis und den angrenzenden Mesophyllzellen, zum Teil auch zwischen die letzteren eindringend, seltener unter der ersten Mesophyllzellenschicht (Iris), also wiederum an denjenigen der Oberfläche nächsten Orten, wo Inter-

[1]) Bot. Zeitg. 1854, pag. 671—674.

[2]) Lehrbuch d. Botanik. 4. Aufl., pag. 703, Fig. 473.

[3]) Bot. Zeitg. 1860, pag. 15.

cellularräume vorhanden sind und die Zellen am leichtesten von einander weichen. Daher tritt dies besonders an der unteren Blattfläche ein, wo das Schwammparenchym jene Bedingungen am meisten erfüllt, mit Ausnahme der Stellen über den stärkeren Nerven; aber es kommt auch an der oberen Seite des Blattes zu stande. Übrigens erstreckt sich diese Eisbildung wohl nie gleichmäßig über die ganze Blattfläche: ich fand sie immer mehr oder minder fleckenweise und zwar ganz regellos lokalisiert; offenbar bilden die Stellen, wo die Kristallisation beginnt, Anziehungspunkte für neue Flüssigkeit, die sich dorthin zieht von den übrigen Teilen des Blattes her, welche dadurch soviel Saft verlieren, daß an ihnen keine Eisbildung eintreten kann. Ein meist auffallend hellgrünes Kolorit zeigt die Stellen an, wo Eis in der Blattfläche abgeschieden worden ist.

Schutzeinrichtung winterbeständiger saftreicher Blätter gegen die Verwundung durch Eisbildung.

Die soeben beschriebenen, gar oft verderblichen Verwundungen, welche der Frost an im Saft befindlichen Pflanzenteilen hervorbringt, bezogen sich auf lauter solche Teile, welche nicht eigentlich für die kalte Jahreszeit bestimmt sind. Um so bemerkenswerter ist es, daß gerade die saftigen Teile solcher sukkulenter Pflanzen, welche in diesem Zustande den Winter überdauern müssen, in ihrem anatomischen Baue eine Schutzeinrichtung gegen die Verwundung durch Eisbildung haben. Offenbar muß es bei einem konzentrischen oder überhaupt der Oberfläche parallel geschichteten Baue, wie ihn die oben besprochenen Organe zeigen, wegen der in der gleichen Richtung sich ausbreitenden und mithin in radialer Richtung wachsenden Eiskrusten am leichtesten zu einem Zersprengen der darüber liegenden Gewebe kommen. Die saftigen Blätter der winterbeständigen Rosetten der Sempervivum-Arten zeigen dagegen auf dem Querschnitte die Parenchymzellen in Reihen geordnet, welche rechtwinkelig zur Epidermis beider Blattseiten gestellt sind und mit eben solchen Reihen von Intercellulargängen, die zwischen ihnen sich befinden, abwechseln: das Mesophyll besteht also aus einschichtigen Gewebeplatten, welche in der Längsrichtung und vertikal zu beiden Blattseiten (median) gestellt sind. In gefrorenen Blättern fand ich die einzelnen Gewebeplatten durch Vergrößerung und Vereinigung der Intercellulargänge völlig von einander gewichen und durch dünne Eisplatten von gleicher Richtung, welche die Zwischenräume ausfüllen, getrennt; jede Gewebelamelle war zwar infolge starker Schrumpfung der Zellen dünner, jedoch in ihrer Kontinuität nicht unterbrochen und immer mit der Epidermis fest verbunden; durch Druck konnte man aus dem Querschnitte die radialen Eisplättchen hervorquetschen. Es kann also hier zu keiner Enthäutung noch zu sonstiger schädlicher Ver-

wundung kommen. Beim Auftauen tritt rasch der normale Zustand wieder vollständig ein.

Form des Eises in der Pflanze.

Die in den Geweben ausgeschiedenen Eismassen bestehen aus prismatischen Kristallen, welche Basaltsäulen ähnlich vertikal auf dem unterliegenden Gewebe stehen, aber meist so dicht gedrängt und miteinander verwachsen sind, daß die einzelnen Individuen oft nicht deutlich zu unterscheiden sind. In einer Beziehung zu den einzelnen Zellen oder Intercellulargängen, wie Caspary glaubte, stehen sie nicht. In den Eissäulchen sind gewöhnlich sehr feine, in der Richtung der Längsachse fadenförmig gereihte Luftblasen eingeschlossen. Meistens behalten die Eismassen diese faserig kompakte Beschaffenheit, auch wenn sie zu großer Stärke heranwachsen, die nicht selten die Dicke des darunter liegenden Gewebes weit übertrifft. Indessen haben schon ältere Beobachter, sowie auch Caspary[1]) und Prillieux[2]), mitunter gesehen, daß das Eis auch durch excessives Wachstum in radialer Richtung stellenweise aus den Stengeln bald in Form fast 4 cm langer kristallinischer Fäden, bald in dünnen vertikalen Eisblättern oder Kämmen, bald als faserige Eislocken weit hervortritt.

Erklärungsversuche.

Eine physikalische Erklärung dieser Erscheinung hat erst Sachs[3]) gegeben; fast gleichzeitig hat v. Mohl[4]) wenigstens in der Hauptsache in gleichem Sinne sich ausgesprochen. Ersterer hat den Vorgang dem Experimente zugänglich gemacht, indem er auf den Schnittflächen von Kürbisfrüchten, Rüben, Möhren, Blattstielen bei —3 bis 6° C. ebensolche aus vertikal stehenden verwachsenen Kristallen bestehende Eiskrusten auftreten sah und dabei die Bedingungen dieser Eisbildungen überhaupt feststellen konnte. Als solche ergaben sich: eine mäßige Kälte, bei welcher das mit Wasser imbibierte Zellgewebe selbst noch nicht gefriert, und ein Schutz der Fläche, auf welcher das Eis sich bildet, vor zu starker Verdunstung. Diese Bedingungen sind auch bei der Eisbildung innerhalb lebender Pflanzenteile erfüllt. Sachs erklärt nun den Vorgang folgendermaßen. Wenn die dünne Wasserschicht an der Oberfläche einer imbibierten (an Intercellularräume angrenzenden) Zellhaut gefriert, so wird eine neue Wasserschicht aus der letzteren an ihre Stelle treten und nun ihrerseits wieder erstarren, was so lange fortgeht, als die Zellhaut nicht gefroren ist. In der That wachsen die Kristalle, wie die Beobachtung lehrt, an ihrer Basis. Wegen der thätig bleibenden Imbibitionskräfte der Membranen wird auch von entfernteren Stellen aus Wasser nach den Punkten, wo die Eisbildung zuerst begonnen hat, hingeleitet, so daß die letzteren zu Anziehungspunkten für das Wasser der Pflanze werden; ja die sehr mächtigen Eisablagerungen lassen sich nur durch die Annahme erklären, daß während des Phänomens durch die Aufsaugung der Wurzeln nach und nach noch beträchtliche Wassermengen den

[1]) Bot. Zeitg. 1854, pag. 665—674; daselbst auch die älteren Angaben.
[2]) l. c pag. 129.
[3]) Berichte d. k. sächs. Ges. d. Wiss. 1860, pag. 1 ff.
[4]) l. c.

Kristallisationspunkten zugeführt werden, wie von Caspary und anderen[1]) vor ihm bereits geltend gemacht worden ist. Daraus erklärt sich auch, warum der Genannte die Erscheinung nicht an Topfpflanzen beobachtete, offenbar weil hier durch die Kälte auch die Wurzelthätigkeit sistiert war. — Die Erklärung des Phänomens als rein physikalischer Vorgang wird besonders erleichtert durch eine eigentümliche Eisbildung, die manchmal auf der Oberfläche des Erdbodens vorkommt und schon von älteren Beobachtern[2]), besonders aber von v. Mohl[3]), dem Sachs hierin beistimmt, mit der Eisbildung in lebenden Pflanzen identifiziert worden ist, da sie unter ganz denselben Bedingungen und in ganz gleicher Form eintritt. Rechtwinkelig auf der Oberfläche des Bodens erheben sich bis 5 cm lange isolierte oder verwachsene Eisfäden. v. Mohl beobachtete diese Bildungen auf einem Gebirgszuge des Schwarzwaldes, wo sie unter dem Namen Kammeis bekannt sind, im November besonders an steilen Böschungen, nach Regenwetter auf einem mäßig feuchten, lockeren und porösen Boden, welcher selbst dabei nicht gefroren war. Ich sah die Erscheinung unter denselben Verhältnissen sehr schön anfang September 1877 auf dem Kamme der Sudeten: an zahllosen Stellen bemerkte man bald gerade, bald lockenförmige faserige Eissäulen, gesponnenem Glase oder Asbest ähnlich, auf dem Boden, teils wegen ihrer Länge umgefallen und angehäuft, teils noch stehend, häufig an ihren oberen Enden durch eine dünne Eisschicht verbunden, in welcher oft etwas von der obersten Bodenschicht mit emporgehoben worden war; die Basis der Säulen ist der jüngste, wachsende Teil, indem das in dem nicht gefrorenen unterliegenden Boden befindliche Wasser sich fortwährend den einmal gebildeten Eiskristallen anschließt und diese vorwärts drängt[4]).

Krümmungen beim Gefrieren.

2. Krümmungen der Blätter und biegsamer krautartiger Stengel sind beim Gefrieren der Pflanzen häufige Erscheinungen. In bezug auf die der Stengel giebt Göppert[5]) an, daß nach einer Temperatur von — 5° C. im Frühlinge die büschelig wachsenden Stengel der Päonien, Delphinien, Adonis, Potentillen, Diclytra 2c. exentrisch mit der Spitze nach der Erde gebogen, Raps und Kohl nur nickend, aber blühende wie nicht blühende Stengel von Liliaceen, wie Kaiserkronen

---

[1]) Bot. Zeitg. 1854, pag. 686.

[2]) Bot. Zeitg. 1854, pag. 681.

[3]) l. c.

[4]) Die Mineralogen haben übrigens diese Art von Bodeneis unter den oben angegebenen Verhältnissen mehrfach beobachtet und Erklärungen gegeben, die mit der obigen übereinstimmen. Vergl. besonders Kenngott (Sitzb. d. Wiener Akad. 1855. XVI. Bd., pag. 157—160), welcher das durch nadelförmige Eiskristalle hervorgebrachte Abblättern des Kalkanstriches und die Hebung desselben von dem Mörtelverputze einer Ziegelmauer beschrieben hat. In Japan ist dieses Bodeneis nach Dönitz unter dem Namen „Shimobashira" (Reifbalken) bekannt und in den deutschen Alpen hat man mehrfach dieselbe Erscheinung wahrgenommen (vergl. Koch, Über Eiskristalle in lockerem Schutte, in Jahrb. f. Mineral. 1877, pag. 449 ff).

[5]) Ber. d. schles. Gesellsch. f. vaterl. Kult. 30. März 1873. Citiert in Bot. Zeitg. 1873, pag. 366.

und Hyacinthen, nicht gebogen, sondern platt auf den Boden gestreckt waren. Ich sah die Krümmungen sowohl an Spätlingen bei den ersten Herbstfrösten, als auch bei Frühjahrsfrösten. Die meisten Stengel waren ähnlich wie im welken Zustande in ihrem oberen Teile in einem weiten Bogen umgekrümmt (Silybum marianum, Sonchus oleraceus, Senecio vulgaris, Urtica urens, Mercurialis annua, Sinapis alba, Poterium Sanguisorba), nicht selten halbkreisförmig, so daß die Spitze gegen die Erde gekehrt war. Andere zeigten, wie es hier ebenfalls beim Welken zu sehen ist, nur eine nickende Richtung des Blütenstandes: so waren die Blütenstiele nur im oberen Teile gekrümmt und die Köpfchen hängend bei Calendula, Chrysanthemum Parthenium, und bei Euphorbia helioscopia waren sowohl der Hauptstengel als die Äste des Blütenstandes allemal nur dicht unter den Hüllen umgebogen. Auch die Blätter nehmen meistens eine ähnliche Richtung wie im welken Zustande an: sie sind im allgemeinen abwärts gebogen. Göppert[1]) erwähnt die schon von Linné beobachtete Erscheinung, daß Euphorbia Lathyris beim Gefrieren die Blätter dicht am Stengel herabschlägt. Abwärtskrümmungen der Blätter nur mit ihrer Basis sah ich an den Wurzelblättern von Allium victorialis, die dadurch horizontal auf dem Boden hingestreckt waren, und bei Sambucus nigra, wo die Blätter nur in der Nähe des Blattpolsters sich herabgeschlagen hatten. Öfter krümmt sich das Blatt mehr oder weniger in seiner ganzen Länge abwärts; bei einigermaßen langgestielten ist es hauptsächlich der Blattstiel, z. B. bei Malva sylvestris, Ficaria ranunculoides, bei Euphorbia amygdaloides, wie überhaupt bei den allermeisten dikotyledonen Kräutern. An den Blättern der Dikotyledonen, Kräutern wie Holzgewächsen, kommen zugleich oft mannigfache unregelmäßige Verkrümmungen und Kräuselungen der Blattfläche vor, wobei jedoch vorherrschend die morphologische Oberseite konvex wird. Oder die Blattfläche faltet sich zusammen, so wie sie in der Knospe liegt (Malva).

Ursache der Krümmungen.

Einen Versuch, diese Krümmungen zu erklären, findet man nur bei Sachs[2]) in der beiläufigen Bemerkung, daß, wenn die infolge des Wasserverlustes bei der Eisbildung eintretende Zusammenziehung (welche Sachs[3]) wirklich durch Messung nachgewiesen hat) auf verschiedenen Seiten eines Blattes oder Stengels in ungleichem Grade erfolgt, Krümmungen eintreten müssen. Ich halte diese Erklärung allein noch nicht für ausreichend, um das in der überwiegenden Mehr-

---

1) Wärme-Entwickelung in den Pflanzen, pag. 12.
2) Lehrb. d. Botanik. 4. Aufl., pag. 703. Anmerk.
3) Ber. d. kgl. sächs. Ges. d. Wiss. 1860, pag. 19.

zahl der Fälle stattfindende Umkrümmen nach unten begreiflich zu machen, besonders an nicht oder kaum bilateralen Organen, wie die meisten Internodien. Hier kann keine andere Vorstellung Platz greifen, als die, daß die Abwärtskrümmung Folge einer allgemeinen Erschlaffung der Gewebe ist infolge der Entziehung des Wassers, welches auskristallisiert. Der Pflanzenteil welkt eben; starr wird er erst dann, wenn so viel Eiskristalle gebildet sind, daß sie zu ausgedehnteren Krusten sich vereinigt haben. Mit dieser Vorstellung steht im Einklange, daß gerade schwere Pflanzenteile, wie Blütenköpfe und andere Infloreseenzen, laubreiche Stengelspitzen, große Blattflächen, die Krümmung am ausgeprägtesten zeigen, und zweitens vorzüglich der Umstand, daß der Ort der Krümmungen diejenige Stelle der Organe ist, an welcher am spätesten das Wachstum erlischt und die Gewebe noch am saftreichsten und weichsten sind, mithin allemal derselbe Teil, welcher auch beim Welkwerden zuerst und am stärksten sich krümmt, wie oben hervorgehoben wurde. Während daher viele der Frostkrümmungen, sowohl in der äußeren Form der Erscheinung, als auch ursächlich mit dem Welken zu vergleichen sind, tritt doch unzweifelhaft in anderen Fällen der von Sachs bezeichnete Faktor als wirksam ein, den man genauer als Veränderungen der Gewebespannungen bezeichnen kann. Denn wenn an verschiedenen Seiten eines Organes den Geweben in verschiedenem Grade Wasser entzogen wird, so müssen, da ja bei diesen Eisbildungen und Krümmungen das Gewebe selbst nicht gefroren und noch von einem Teile des Saftes imbibiert ist, die Gewebespannungen durch merkliche Krümmungen sich äußern. Wie dieselben auch schon beim Zerreißen der Gewebe infolge der Eisbildung eine Rolle spielen, wurde oben angedeutet. Da in vielen Blättern die Eisbildung besonders an der morphologischen Unterseite stattfindet, so wird in der That der stärkere Wasserverlust dieser Seite zu den für diese Organe charakteristischen konvexen Krümmungen der Oberseite beitragen müssen. Und unzweifelhaft giebt dieser Vorgang allein den Ausschlag bei solchen Richtungsänderungen, welche in keiner Beziehung zur Schwerewirkung stehen. Als solche hebe ich nur hervor die schlängeligen Krümmungen, die man bisweilen an gefrorenen langen Blütenstielen sehen kann, und besonders die Erscheinung, die ich bei demselben Herbstfroste, bei welchem ich die anderen Beobachtungen machte, an einem noch belaubten Strauche von Ptelea trifoliata bemerkte. An den ziemlich aufrechten Zweigen hatten die Blätter ihre Foliola lediglich durch Krümmungen der Gelenke in sehr verschiedene Stellungen gebracht; an der Mehrzahl waren die Blättchen nach oben zusammengeschlagen, so daß die morphologische Oberseite

der Gelenke sich verkürzt hatte; dabei waren die drei Blättchen bald mehr gegen die Basis des Blattes hin gewendet, bald mehr in einer die Basis fliehenden Richtung einander genähert; manche Blätter jedoch zeigten die Foliola nach unten geschlagen, also die Unterseite der Gelenke verkürzt. Zur Vertikale aber standen diese Bewegungen in gar keiner gesetzmäßigen Beziehung.

Senkung der Baumäste bei Frost.

Bei starken Fröſten hat man auch eine Senkung der Baumäste beobachtet, am auffallendsten an Linden. Caspary[1]), welcher von 10 Baumarten ungefähr zollstarke oder schwächere Äste in dieser Beziehung untersuchte, kommt zu dem Schlusse, daß gewisse Baumarten ihre Äste bei Kälte senken, andere erheben und beim Weichen des Frostes nahezu wieder in die ursprüngliche Lage zurückkehren. Da Caspary aber von jeder Baumart meist nur einen einzigen Ast untersuchte und da er bei allen Bäumen auch noch Veränderungen der Richtung nach der Seite hin bemerkte, so dürfte die Erscheinung bei weiter ausgedehnten Untersuchungen vielleicht mit unter dieselben Gesichtspunkte zu bringen sein, wie die Richtungsänderungen der vorher besprochenen weniger holzigen Pflanzenteile. An Cornus sanguinea unter Hochwald sah ich wiederholt die ein- bis dreijährigen Ästchen stark wellenförmig geschlängelt oder umeinander gewunden und sogar wie eine 8 geschlungen, und die meisten Krümmungen zeigten sich bei den einzelnen am Orte wachsenden Sträuchen deutlich nach einer und derselben Himmelsgegend orientiert, so daß es sich hier vielleicht auch um eine Frostwirkung gehandelt hat, bei welcher die Richtung, von welcher der kalte Luftstrom vorwiegend gekommen war, bestimmend auf die Orientierung der Krümmung gewesen sein würde.

Farbenänderungen beim Gefrieren.

3. Farbenänderungen beim Gefrieren treten hauptsächlich an grünen Blättern ein. Es sind aber hiermit nicht diejenigen Farbenänderungen zu verwechseln, welche schon eine Folge des Todes der Zellen sind, der häufig beim Wiederauftauen eintritt; vielmehr sind hier nur diejenigen gemeint, welche, sobald die Wärme wiederkehrt, verschwinden und der normalen Färbung Platz machen. Das vorher undurchsichtige Gewebe wird manchmal mehr oder minder glasartig durchscheinend, besonders bei einigermaßen saftigen Teilen, wie es schon Göppert[2]) angiebt; dies zeigt sich am vollkommensten dann, wenn das Organ bei starken Kältegraden durch und durch zu Eis erstarrt. Bei langsam eintretendem, schwachem Froste, wo das Gewebe

[1]) Report of the International Horticultural Exhibition and Botanical Congress. London 1866, pag. 99.

[2]) Wärme-Entwickelung, pag. 9.

nicht gefriert und nur intercellulare Eisbildung stattfindet, erscheinen mehr oder minder deutlich blaßgrüne bis weißliche Flecken in dem dunkelgrünen Kolorit des übrigen Teiles. Dieselben sind veranlaßt durch die gebildeten Eiskrusten, indem diese die Epidermis abheben und die zwischen den Eiskristallen enthaltene Luft das helle Aussehen bedingt. Die übrigen Stellen erscheinen dunkelgrün, weil sie nur aus saftärmer gewordenen und mehr zusammengezogenem also dichterem Gewebe bestehen. Darum ist diese Farbenzeichnung bei Dikotyledonen oft allein an der Unterseite des Blattes vorhanden und auf das deutlichste durch die Nervatur bedingt, indem die Adern dunkelgrün, die nur aus Schwammparenchym gebildeten Felder weißlich erscheinen (Wurzelblätter von Borago officinalis, Dipsacus Fullonum). Bei vielen anderen Dikotyledonen aber treten die Flecken auf beiden Blattseiten und in ganz regelloser Verteilung und Größe auf, wie ich es z. B. an Sinapis alba sehr ausgeprägt sah. Auch viele Monokotyledonenblätter zeigen oft an beiden Seiten weißliche Flecken oder Streifen. Wenn die Pflanzen ins Warme gebracht werden, so verschwinden diese Zeichnungen fast augenblicklich wieder. Im gefrorenen Zustande finde ich die grünen Zellen nicht weiter verändert, als daß sie samt Inhalt stark geschrumpft sind, und daß oft ein Zusammenhäufen der Chlorophyllkörner zu Klumpen stattgefunden hat. Beim Einbringen in die Wärme begeben sich die Chlorophyllkörner schnell wieder in die normale Lage. An den violetten Blüten von Antirhinum Orontium und den gelben von Calendula sah ich während des Frostes keine Farbenänderung.

II. Die Folgen des Gefrierens.

Veränderungen beim Auftauen gefrorener Pflanzenteile.

Das Gefrieren der Pflanzenteile ist mit dem Erfrieren derselben nicht gleichbedeutend. Denn der gefrorene Zustand hat nicht notwendig den Tod zur Folge. Ein gefrorener Pflanzenteil bleibt nach dem Weichen des Frostes entweder am Leben oder aber er erweist sich als tot.

Wenn die Pflanze das Gefrorensein ohne Schaden übersteht, so wird das intercellular gebildete Eis beim Auftauen sogleich durch die Imbibitionskräfte der Zellmembranen und des Protoplasmas von den Zellen wieder aufgenommen, welche dadurch ihren normalen Turgor nebst allen Eigenschaften des frischen Zustandes annehmen, während die Eisklüfte wieder auf die gewöhnliche Weite der Intercellularen sich zusammenziehen. Gleichzeitig nehmen die Blätter wieder ihr gewöhnliches Kolorit an und alle Teile erlangen ungefähr ihre frühere Richtung und Form wieder.

Wenn aber der Pflanzenteil nach dem Auftauen sich getötet erweist, so zeigt er auffallende Veränderungen gegen früher. Dieselben bieten je nach den Pflanzenarten und nach der Beschaffenheit des Pflanzenteiles viele Mannigfaltigkeiten dar, stimmen aber alle in folgenden Momenten überein, welche die allgemeinen Symptome des Todes sind und auch denen gleichen, die nach Tötung durch Hitze (s. S. 171) eintreten. Beim Tode durch Erfrieren hört die Turgescenz der Zellhaut auf; diese wird schlaff, hält das Imbibitionswasser nicht mehr fest, läßt es in die Intercellulargänge austreten und rasch verdunsten; das Protoplasma ist desorganisiert, mehr oder minder zusammengeschrumpft, es hat keinen Widerstand mehr gegen den Zellsaft und die darin gelösten Stoffe, es läßt diesen durch sich hindurchfiltrieren und die gelösten Stoffe sich mit einander mengen, giebt auch den Farbstoff ab, wenn solcher im Zellsaft gelöst war, sobald man den Pflanzenteil ins Wasser legt[1]); die Chlorophyllkörner bekommen Vacuolen oder schrumpfen bisweilen unter Formverzerrung[2]) und werden mit dem sich kontrahierenden Protoplasma mehr oder weniger in Klumpen zusammengehäuft. Dagegen ist von einer Sprengung der Zellen, von einer Zerreißung der Zellmembranen (den von Caspary angegebenen Fall, wo das Cambium beim Gefrieren durchrissen werden soll, ausgenommen) auch in erfrorenen Pflanzenteilen nichts zu bemerken. In den angegebenen Veränderungen finden alle besonderen Erscheinungen ihre Erklärung, die an verschiedenen Pflanzenteilen beim Tode durch Erfrieren und bei partiellen Frostbeschädigungen wahrgenommen werden. Alle auch nur einigermaßen saftigen Pflanzenteile sind sofort nach dem Auftauen in hohem Grade schlaff und welk und haben, wegen der Erfüllung der Intercellulargänge mit Flüssigkeit, eine eigentümliche, durchsichtige, wie gekochte Beschaffenheit; sie sind so weich, daß sie, zumal voluminöse Teile, wie Rüben, Kartoffelknollen, durch geringen Druck den Saft aus sich wie aus einem Schwamm auspressen lassen. Befinden sich die Blätter an der Luft, so verlieren sie durch Verdunstung ihr Wasser ungemein rasch und sind bald ganz dürr. Gewöhnlich übt auch der Chemismus, so lange das erfrorene Blatt noch Saft enthält, rasch seine Wirkung aus: durch den Sauerstoff der Luft tritt, wie an allen toten Pflanzenteilen, ein Humifikationsprozeß ein, welcher das Protoplasma oder die Zellhaut braun färbt; daher werden die Blätter unter solchen Umständen braun

---

[1]) Sachs in Ber. d. kgl. sächs. Ges. d. Wiss. 1899, pag. 25—39.

[2]) Vergl. auch G. Haberlandt, Über den Einfluß des Frostes auf die Chlorophyllkörner. Österr. Bot. Zeitschr. 1876, Heft 8.

oder schwärzlich. Auch die farbigen Blütenteile, besonders die weißen, rötlichen oder gelben werden mehr oder weniger gebräunt. Wenn aber das grüne Blatt sehr schnell trocken wird, noch ehe die chemischen Zersetzungen eintreten, so bekommt es keine andern Farben, sondern nimmt nur das Fahlgrün des trockenen Heues oder Laubes an. Besonders gilt dies von den wenig saftigen Blättern; diese sind gleich beim Auftauen dürr und sehen aus wie gut getrocknete Herbarienexemplare. Der fahlgrüne Farbenton ist hier nur durch den trockenen Zustand bedingt; denn wenn man solche Teile befeuchtet, werden sie wieder reiner grün. Nur dadurch wird in diesem Falle das Kolorit bisweilen etwas mißfarbiger, daß die bei der Eisbildung abgehobene Epidermis als dünnes Häutchen lose über dem Mesophyll ausgespannt bleibt und dadurch ein eigentümliches optisches Verhalten zeigt; entfernt man die Epidermis, so zeigt sich darunter das Mesophyll ebenso freudig grün, wie jegliches frisch getrocknete Chlorophyll, und in den Zellen erkennt man einen gleichmäßig grünen, unregelmäßigen Klumpen, zu welchem die Chlorophyllkörner zusammengetrocknet sind. Dies beobachtete ich an verschiedenen erfrorenen Pflanzen mehrere Tage nach dem ersten Froste, binnen welcher Zeit die Kälte bis auf —10° C. gekommen war. Selbst in den feucht gebliebenen und durch das Erfrieren gebräunten Blättern von Borago officinalis fand ich nach derselben Zeit innerhalb des bräunlichen Protoplasma ziemlich deutlich die noch grünen Chlorophyllkörner. Früher oder später werden sie aber hier durch den chemischen Prozeß zerstört, und es wird hierbei auch bisweilen die von Wiesner[1]) geltend gemachte Zerstörung des Chlorophylls durch die in den Zellsäften aufgelösten organischen Säuren u. dergl. stattfinden, da das getötete Protoplasma die Undurchlässigkeit für jene Substanzen verloren hat und letztere mit dem Chlorophyll in Berührung kommen, wie z. B. beim Sauerklee, dessen Blätter beim Auftauen sogleich braun werden. Trocknet das aufgethaute erfrorene Blatt sehr schnell, so können die beim Gefrieren auftretenden, sonst in der Wärme sogleich verschwindenden weißlichen Flecken fixiert werden, wie ich es an Sinapis alba bemerkte. Es bleibt dann nämlich an diesen Stellen, nachdem die daselbst vorhanden gewesenen Eiskrusten gethaut und verdunstet sind, eine dünne Luftschicht zwischen der Epidermis und dem Mesophyll, sowie zwischen den Mesophyllzellen selbst eingeschlossen; in dem dunkelgrünen übrigen Teile des Blattes ist das ganze Mesophyll samt den beiden Epidermen zu einer luftleeren, zu-

---

[1]) Die natürliche Einrichtung zum Schutze des Chlorophylls. Wien 1876, pag. 6.

sammenhängenden, festen Masse zusammengetrocknet, die nur aus den Zellmembranen und den festen grünen Inhaltsmassen der Zellen ohne Saft besteht. Schließlich ist noch der Blaufärbung zu gedenken, welche die weißen oder gelben Blüten und selbst die grünen Teile der Orchideengattungen Phajus und Calanthe, wie überhaupt bei ihrem Tode so auch beim Erfrieren annehmen[1]) und welche auf der durch Einwirkung des Sauerstoffs bewirkten Bildung von Indigo beruht, welcher in den lebenden Zellen nicht als solcher, sondern als farbloses Indican enthalten ist[2]).

Die Richtungsveränderungen, welche beim Gefrieren eintreten, bleiben nicht nur beim Tode durch Erfrieren, sondern nehmen zu, indem das Verwelken und Vertrocknen der Teile schnell den höchsten Grad erreicht. Voluminöse, saftreiche Organe dagegen müssen besonders in feuchter Umgebung, nach dem Erfrieren ebenso wie nach dem Tode aus anderen Ursachen, allmählich der Fäulnis anheimfallen, weil das in den toten Geweben lange zurückgehaltene Wasser die Zersetzung der organischen Verbindungen ermöglicht. Darum sehen wir erfrorene Zwiebeln, Kartoffeln, Rüben, Wurzeln u. dergl. in Fäulnis übergehen.

Ursache des Todes durch Erfrieren.

Der Frosttod und seine Ursache. Die ältere Ansicht, nach welcher beim Gefrieren die Gefäße und Zellen der Pflanzen zersprengt werden, diejenigen Gewächse aber, welche hohe Kältegrade schadlos ertragen, der Ausdehnung des in ihren Elementarorganen gebildeten Eises widerstehen[3]), ist zuerst von Du Petit-Thouars[4]) verworfen, aber erst durch Göppert's[5]) umfassende Untersuchungen widerlegt

---

[1]) Vergl. Göppert, Bot. Zeitg. 1871, Nr. 24, und Prillieux, Bull. soc. bot. de France 1872, pag. 152.

[2]) Eine Beschreibung des Aussehens, besonders der Farbenänderungen erfrorener Pflanzen nach Familien und Gattungen hat Göppert (Wärme-Entwickelung, pag. 16 ff. und wiederum in den Sitzungsber. d. schles. Ges. für vaterl. Kultur, 14. Dez. 1874; referiert in Bot. Zeitg. 1875, pag. 610) gegeben. Ich muß darauf verweisen, da ich in der obigen Darstellung die Farbenänderungen nur soweit zusammengestellt habe, als ich für dieselben bestimmte innere Veränderungen als Ursachen angeben konnte. — Es ist gewiß nicht zu leugnen, daß beim Erfrieren die einzelnen Pflanzenarten bestimmte für sie charakteristische Symptome in der Färbung zeigen; allein mir scheint, daß diese nicht absolut sicher und unwandelbar sind; sie richten sich ohne Zweifel auch nach dem augenblicklichen allgemeinen Zustande des Pflanzenteiles und nach den jeweiligen äußeren Verhältnissen zur Zeit, wo das Erfrieren stattfindet, wie ich oben hervorgehoben habe.

[3]) Vergl. besonders Sennebier, Physiol. vegetal. T. III. Chapitre 8.

[4]) Le verger français. Paris 1817.

[5]) Wärme-Entwickelung, pag. 25—30.

worden, welcher zeigte, daß ganz allgemein in erfrorenen Pflanzenteilen die Zellen unverletzt, die Membranen derselben nicht zerrissen, sondern nur erschlafft sind. Nägeli[1]) hat die Unmöglichkeit dargethan, daß bei der Elasticität der Zellmembran und bei der unter normalen Verhältnissen kaum vollständigen Füllung der Zelle mit Saft eine Sprengung infolge der Ausdehnung des gefrierenden Inhaltes eintritt, und hat ferner den sicheren Beweis geliefert, daß die Membranen durch Frost getöteter Zellen auch nicht durch die kleinsten Risse verletzt sein können, indem er sah, wie Zellen von Spirogyra orthospira, welche durch Frost getötet waren und alle Symptome des Todes in der Beschaffenheit ihres Protoplasmas zeigten, beim Einlegen in konzentrierte Lösungen von Zucker und andere wasserentziehende Mittel durch Diosmose entleert und zusammengedrückt wurden, was bei Vorhandensein von Rissen nicht möglich gewesen wäre.

Göppert suchte die Ursache des Frosttodes darin, daß durch die niedere Temperatur an sich die Lebenskraft in der Zelle vernichtet werde und daß es hauptsächlich auf die Energie derselben und auf den verschiedenen Vitalitätszustand der Pflanze ankomme, ob dieselbe den Frost erträgt oder ihm erliegt. Allein diese Ansicht, wonach die niedere Temperatur allein die Todesursache sein soll, wird doch schon durch die Thatsache widerlegt, daß während die Pflanzen sehr empfindlich gegen das Gefrieren sind, die trockenen Samen den höchsten Kältegraden widerstehen. Auch schließt diese Ansicht notwendig die Annahme ein, daß der Tod beim Erfrieren immer schon während des Gefrierens durch direkte Wirkung der Kälte, nicht erst beim Auftauen oder infolge des Auftauens auftritt. Göppert[2]) führte als Beweis hierfür das oben erwähnte Blauwerden der Orchideenblüten beim Erfrieren an, welches er schon während des Gefrierens beobachtet haben will. Prillieux[3]) aber bestreitet dies; er zeigte, daß diese Blüten auch im vollständig gefrorenen Zustande noch unverändert sind und erst im Momente des Auftauens die Farbenwandlung erleiden.

Sachs[4]) dagegen verlegt den Eintritt des Todes in den Moment des Auftauens; er sucht die Todesursache in einem zu raschen Auftauen, während langsames Auftauen die Zellen nicht töte. Mit dieser Ansicht steht allerdings die bekannte Erfahrung im Einklange, daß oft ein plötzlicher Eintritt hoher Temperatur gefrorenen Pflanzenteilen viel

---

[1]) Sitzungsber. d. k. bair. Akad. d. Wiss. 9. Febr. 1861.

[2]) Bot. Zeitg. 1871, Nr. 24.

[3]) Bull. soc. bot. de France 1872, pag. 152.

[4]) Ber. d. kgl. sächs. Ges. d. Wiss. zu Leipzig 1860, pag. 22—42. — Experimentalphysiologie, pag. 58—61.

schädlicher ist, als eine langsame Erwärmung. Sachs hat auch den exakten Beweis geliefert, daß wenigstens für gewisse Fälle seine Ansicht zutreffend ist. Er ließ eine Anzahl Stücke von Rüben oder Kürbissen oder Blättern verschiedener Kräuter vollständig gefrieren und fand dann, daß dieselben beim langsamen Auftauen, nämlich beim Einlegen in Wasser von 0° u. dergl., lebensfrisch blieben, dagegen desorganisiert wurden, wenn sie, bei derselben Kälte gefroren, rasch auftauten. Um diese Thatsache zu erklären, geht Sachs von der Vorstellung aus, daß die Moleküle der Zellhaut und des Protoplasmas und diejenigen des imbibierten Wassers beim Gefrieren sich trennen und in neue Lagen versetzt werden und daß, wenn das Schmelzen der kleinen Eiskristalle in der Zellhaut und im Protoplasma schnell geschieht, heftige Molekularbewegungen entstehen, welche die frühere Anordnung nicht wieder eintreten lassen[1]). Für saftreiche Pflanzenteile, wie Rüben und Kürbisse, wenn sie durch starke Kälte durch und durch, also innerhalb der Zellen gefroren sind, wird diese Ursache des Frosttodes wohl zutreffend sein. Ungleich schwieriger dürfte es aber sein, auch die Fälle, wo das Gewebe selbst nicht gefriert, sondern nur intercellulare Eiskrusten gebildet werden, mit unter diese Ansicht zu bringen. Sachs[2]) meint, beim langsamen Auftauen schmelzen die Eiskristalle an ihrer Basis, wo sie die Zelle berühren, und das flüssig werdende Wasser werde sogleich von der Zelle aufgesogen, die dadurch ihre ursprüngliche Beschaffenheit wieder erlange; beim schnellen Auftauen der Eiskruste laufe dagegen ein Teil des sich bildenden Wassers in die Zwischenräume des Gewebes, bevor es aufgesogen werden könne, und die ursprünglichen Verhältnisse können sich nicht wieder herstellen. Es ist nun aber nicht abzusehen, warum Wasser aus den doch winzig kleinen Intercellulargängen von den an diese angrenzenden Zellen nicht wieder soll aufgesogen werden können, wenn die Zellen eben noch am Leben, also turgescenzfähig sind, da ja doch das Wasser aus den Intercellulargängen nicht nach außen abläuft. Die dauernde Erfüllung der Intercellularen mit Saft wäre doch erst die Folge des Verlustes des Turgors der Zellen, setzte also schon den Tod der letzteren voraus. Ich habe viele krautartige Pflanzen, welche unter intercellularer Eisbildung erstarrt waren, rasch aus der Winterkälte ins geheizte Zimmer gebracht, und diejenigen, welche nicht bereits vorher tot waren, nahmen hier beim augenblicklichen Auftauen ihre lebensfrische Beschaffenheit an.

Die Sachs'sche Theorie trifft nur für die im vorstehenden angedeuteten wenigen Fälle zu. Für die übergroße Mehrzahl der Fälle

---

[1]) Experimentalphysiologie, pag. 61.

[2]) Lehrb. d. Botanik, 4. Aufl., pag. 704.

des Frosttodes der Pflanzen ist eine ganz andere Erklärung zutreffend, die zuerst von mir in der ersten Auflage dieses Werkes (S. 193) und kurz darauf auch von Müller-Thurgau[1]) gegeben worden ist. Hiernach wird in allen hierzu gehörigen Fällen über Leben und Tod nicht erst beim Auftauen entschieden, sondern der Erfolg ist schon im gefrorenen Zustande unabänderlich bestimmt. Ich habe geltend gemacht, daß mit dem Ausfrieren des Saftes aus den Zellen vielfach ein derartiger Wasserverlust für dieselben verbunden ist, daß allein dadurch der Tod der Zelle eintreten muß. Wasser ist eine Lebensbedingung für alle Zellen der von Natur saftreichen Organe, wie der Stengel und grünen Blätter. Sinkt ihr Wassergehalt unter einen gewissen Grad, so ist dies für solche Zellen unfehlbar tödlich, wie es ja allbekannt ist, daß Stengel und Blätter, sobald sie durch Wassermangel längere Zeit bis zu einem gewissen Grade abgewelkt sind, sicher absterben, auch wenn man dann für ausgiebige Wasserzufuhr sorgt. Genau derselbe Zustand der Wasserentziehung findet statt, wenn die Pflanzen durch intercellulare Eisbildung gefrieren, indem dabei die Zellen oft vollständig zusammentrocknen und einschrumpfen, wie oben beschrieben worden ist. Die Erklärung des Frosttodes in den weitaus meisten Fällen wird also die sein, daß der Tod jedesmal eintreten muß, sobald durch das Ausfrieren des Saftes aus den Zellen der Wassergehalt der letzteren unter das für sie erträgliche Minimum gesunken ist. Es ist nicht schwer, eine überzeugende Bestätigung dieser Erklärung zu finden, sobald man nur zur Frostzeit die im Freien wirklich gefrorenen Blätter genauer untersucht. Man findet dann oft, daß sie beziehendlich die gefrorenen Stellen derselben schon während des Frostes völlig dürr wie Heu sind. Da nämlich der Saft in den Blättern sich nach gewissen Stellen, wo die Eisbildung beginnt, hinzieht und dort auskristallisiert, so verlieren eben dadurch die Zellen ihr Wasser bis zur Vertrocknung des Gewebes. Es kommt weiter hinzu, daß die aus den Geweben auskristallisierten Eiskristalle mit der Zeit schwinden, da sie den Imbibitionskräften der Zellen entzogen sind und da ja das zu Eis kristallisierte Wasser an der Luft allmählich auch verdunstet. Auch aus diesem Grunde werden namentlich dünne Blätter, die längere Zeit im gefrorenen Zustande verharren, trocken wie Heu, und bleiben dies natürlich auch bei Wiedererwärmung, da ja ein wesentlicher Teil ihres Wassers auf die oben angegebene Weise verloren worden ist. So ist es wohl auch kaum zweifelhaft, daß oft die Spitzen der Bäume und Sträucher wegen dieser Austrocknung, in die der dauernd gefrorene Zustand

---

[1]) Landwirtsch. Jahrbücher 1886, pag. 459 ff.

schließlich übergeht, absterben, daß also auch ihnen das Gefrorensein selbst schon tödlich ist[1]). Vielleicht beruht auch die von Göppert[2]) gemachte Beobachtung, daß wiederholtes Auftauen und Gefrieren tötete, während einmaliger Frost diese Folge nicht hatte, darauf, daß dabei endlich zu viel Wasser verloren geht, da es nicht wieder ersetzt wird. Jetzt wird es auch erklärlich, warum alle von Natur saftarmen Pflanzenteile sehr widerstandsfähig gegen den Frost sind, worin die trockenen Samen obenan stehen. Denn erstens sind eben die Zellen solcher Pflanzenteile von Natur fähig, in einem äußerst wasserarmen Zustande am Leben zu bleiben, und zweitens kann überhaupt von einem eigentlichen Ausfrieren von Saft bei so wasserarmen Teilen nicht die Rede sein.

III. Verschiedene Empfindlichkeit der Pflanzen gegen Frost.

Verschiedene Empfindlichkeit gegen Frost.

Die vorhergehenden Zeilen enthalten bereits die genügende Erklärung dafür, daß sich in der Pflanzenwelt eine so große Verschiedenheit in der Widerstandsfähigkeit gegen Frost bemerkbar macht. Wenn man weiß, daß Kälte an und für sich für das lebende Protoplasma keine Todesursache ist, sondern daß nur der mit dem Auskristallisieren von Wasser aus dem Protoplasma notwendig verbundene Wasserverlust zur Todesursache bei der Einwirkung des Frostes wird, so hat es keinen Sinn, mit Göppert von einer verschiedenen Empfindlichkeit des lebenden Protoplasmas bei den einzelnen Pflanzenarten zu reden. Maßgebend dafür, wie leicht ein Pflanzenteil dem Frost erliegt, wird nur sein, wie groß der natürliche Wassergehalt des betreffenden Teiles zur Zeit ist und einen wie großen Wasserverlust derselbe in dem augenblicklichen Zustande seines Lebens verträgt. Besonders der letzte Punkt wird der entscheidende bei der Frostempfindlichkeit sein. Indem man dieses Moment sich nicht genügend klar machte, hat man nach anderen Bedingungen der Widerstandsfähigkeit gesucht, ohne dabei zu einem greifbaren Resultate zu kommen. Hoffmann[3]) hat vergeblich den Gehalt der Baumzweige an mechanisch gebundenem Wasser als maßgebend nachweisen zu können versucht, denn dieser Gehalt erwies sich dabei nicht als Maßstab für die Frostempfindlichkeit. Und wenn Sorauer[4]) betont, daß nicht bloß das einzelne Individuum, sondern selbst jeder Zweig einer Holzpflanze in gestaltlicher, anatomischer und

[1]) Vergl. auch Göppert, Wärmeentwickelung, pag. 60.
[2]) l. c. pag. 131.
[3]) Ein negatives Resultat, 1882.
[4]) Pflanzenkrankheiten, 2. Aufl. I, pag. 362.

stofflicher Beziehung seinen besonderen Charakter hat, der von allerhand äußeren Faktoren mit bedingt wird, so ist mit dem bloßen Hinweis auf diese allbekannten Thatsachen noch in keiner Weise eine Beziehung zur Widerstandsfähigkeit gegen den Frost erwiesen.

Die Fähigkeit, einen großen Wasserverlust ohne Schaden zu ertragen, ist nicht näher erklärbar. Sie ändert sich mit dem allgemeinen Lebenszustande der Pflanze; sie ist am größten in dem Zustande der natürlichen Vegetationsruhe, wo von selbst die Gewebe des größten Teiles ihres mechanisch gebundenen Wassers sich entledigen; sie wird also auch allmählich sich steigern, je mehr der betreffende Pflanzenteil in diesen Zustand übergeht. Von diesem Gesichtspunkte aus sind alle folgenden Angaben über die verschiedene Frostempfindlichkeit der Pflanzen zu erklären, so weit sie überhaupt auf Beschädigungen durch wirkliches Gefrieren und nicht auf bloße Störungen gewisser Lebensprozesse wegen Wärmemangels zurückzuführen sind.

Tödliche Kältegrade. Bei Tropenpflanzen.

Daß Temperaturen nahe über 0° schon für Pflanzen tödlich sein sollen, giebt Göppert[1]) für Pflanzen des Tropenklimas an. Er fand verschiedene derartige Pflanzen schon beschädigt, während die Temperatur nie unter Null sank, sich aber auch nicht über + 3° erhob, und zwar Arten mit weicheren, krautigen Blättern schon nach einem Tage, indem die Blätter schwarzfleckig wurden, sich zusammenrollten und bald abfielen, dagegen Arten mit Blättern von festerer Struktur erst nach mehreren Tagen, während Polypodium aureum und Kaktusarten gar nicht gelitten hatten. Ebenso wurden nach Hardy[2]) tropische Pflanzen, die ins freie Land gesetzt und durch Decken vor Wärmeausstrahlung geschützt worden waren, bei + 5° oder + 3°, viele bei + 1° getötet. Sachs[3]) hat aber mit Recht hier eingewendet, daß dabei von einem Frosttode nicht die Rede sein kann, sondern daß wegen der Kälte des Bodens (besonders bei ins Freie gesetzten Topfpflanzen) die Wurzelthätigkeit soweit sistiert sein mußte, daß die Blätter verdarben. De Vries[4]) hat Blätter von Bixa Orellana und Crescentia kurze Zeit in schmelzenden Schnee gelegt und keinen Schaden bemerkt. Göppert[5]) selbst konstatiert, daß wenigstens einzelne tropische und subtropische Pflanzen das Erstarren der Säfte zu Eis bei — 4°, und dann bei — 7° einige Stunden lang ohne Schaden ertragen.

---

[1]) Wärmeentwickelung an den Pflanzen, pag. 43.
[2]) Bot. Zeitg. 1854, pag. 202.
[3]) Lehrb. d. Botanik, 4. Aufl., pag. 705.
[4]) Archives néerland. d. sc. exact. et nat. 1870, pag. 389.
[5]) Bot. Zeitg. 1874, pag. 43.

Bei nicht tropischen Pflanzen.

Für alle nicht der heißen Zone angehörige Pflanzen sind ausnahmslos erst Temperaturen unter dem Gefrierpunkt tödlich. Doch zeigen auch diese Pflanzen nach dem verschiedenen Klima ihres Vaterlandes und je nach ihrer verschiedenen Organisation und ihren wechselnden Lebenszuständen ungleiche Emfindlichkeit. Nach Göppert's[1]) Aufzeichnungen gehen auf freiem Terrain, ohne Schutz von Bäumen ꝛc., schon bei dem geringsten Froste viele unserer exotischen Sommergewächse sicher zu Grunde, und zwar bei — 1 bis 1,5° Coleus Verschaffeltii; bei — 1,5° erfrieren die Blätter von Cucumis sativus, Cucurbita Pepo, Phaseolus nanus, bei — 2° z. B. Canna indica, Georgina variabilis; bei — 2 bis 3° Zea Mays, Chenopodium Quinoa, Solanum lycopersicum, Tropaeolum majus, Ricinus communis; bei — 4° Atropa Belladonna, Phytolocca etc. Dagegen ertragen viele unserer einheimischen Pflanzen, z. B. Senecio vulgaris, Stellaria, Capsella bursa pastoris, Wurzelblätter von Brassica oleracea, von Dipsacus fullonum, Sempervivum- und Sedum-Arten, selbst ohne Schneebedeckung — 10°, wie ich selbst beobachtet habe, und Göppert hat solche und ähnliche noch bei — 15° nicht geschädigt gesehen, ja alpine Saxifragen ohne Schnee selbst — 20 bis 25° ertragen sehen. In der Polarzone ertragen die über den Schnee hervorragenden Stämme der Holzpflanzen und die auf ihnen wachsenden Flechten die höchsten bis jetzt beobachteten Kältegrade, — 40 bis 47°. Und auch in unseren Breiten ist die heftigste Winterkälte nicht im stande, den meisten Bäumen und den auf ihren Stämmen wachsenden Moosen, Flechten und holzigen Schwämmen, sowie den an schneefreien Felszacken unserer höchsten Gebirge wachsenden Flechten Schaden zuzufügen. Alle diese für die Überdauerung des Winters bestimmten Pflanzenteile gehen vor Eintritt der kalten Jahreszeit jedesmal in einen für die Ertragung des Frostes besonders geeigneten Zustand über; derselbe beruht hauptsächlich, wenn nicht allein, auf einer Verminderung des Wassergehaltes der Zellen. Man kann es darum als einen allgemeinen Satz hinstellen, daß Pflanzenteile mit saftreichen Geweben dem Frost am leichtesten erliegen, und ihm um so besser widerstehen, je saftärmer, relativ trockener sie sind. Für diesen alten Erfahrungssatz giebt es eine Menge Belege. Den geringsten Wassergehalt unter allen Pflanzenteilen haben reife, lufttrockene Samen, und diese zeigen auch die größte, vielleicht eine unbegrenzte Widerstandsfähigkeit gegen niedere Kältegrade, während sie im wasserhaltigen (gequollenen) Zustande sehr leicht erfrieren[2]). Die Winterknospen

[1]) Sitzungsber. d. schles. Gesellsch. f. vaterländische Kultur, 14. Dez. 1874.
[2]) Göppert, Wärmeentwickelung, pag. 48 ff.

unsrer Gehölze haben sehr wasserarme Gewebe, im Holze der Stämme und Zweige ist im Winter die Saftleitung unterdrückt, und auch die Rinde und die nicht thätige Cambiumschicht sind dann fast saftlos; von den wintergrünen Blättern gilt das nämliche. Alle diese Teile widerstehen aber auch den härtesten Wintern gut. Pflanzenteile dagegen, welche in Vegetation begriffen sind, sind saftreich. Daher werden unsre einheimischen Kräuter, wenn sie spät entwickelt sind und noch in voller Vegetation vom Winter überrascht werden, durch starke Fröste getötet. Auf diese Weise ist es auch zu erklären, daß Obstbäume und Weinstöcke nach kühlen Sommern und kurzen Herbsten, in denen die Pflanze den normalen Abschluß der Vegetation und die genügende Ausreifung des Holzes nicht erreichen kann, größeren Kältegraden nicht zu trotzen vermögen; die dann eintretenden Beschädigungen sind also weniger durch allzugroße Winterkälte als durch die Abnormität des vorausgegangenen Sommers und Herbstes verursacht. Vielleicht ist auch der Grund, warum Gehölze südlicher Länder in nördlicheren Gegenden im freien Lande nur unter Decke oder auch nicht einmal unter dieser durch den Winter zu bringen sind, nur in dem Umstande zu suchen, daß diese Pflanzen überhaupt nicht die vollständige Ausreifung und den winterlichen Ruhezustand in ihren Geweben erreichen, der zur Ertragung des nordischen Winters erforderlich ist. Etwas Ähnliches ist die Empfindlichkeit der Wurzeln gegen Kälte, selbst bei solchen Pflanzen, deren oberirdische Teile winterbeständig sind. H. v. Mohl[1]) hat gezeigt, daß die Baumwurzeln, durch den Boden gegen die Kälte geschützt, während des Winters nicht wie die oberirdischen Teile in Vegetationsruhe übergehen, sondern daß ihre Cambiumschicht bis zu Ende des Winters saftreich und in zellenbildender Thätigkeit bleibt. In Übereinstimmung damit aber beobachtete er auch, daß die Wurzeln außerhalb des Bodens durch Kältegrade getötet wurden, denen die oberirdischen Teile leicht widerstehen (Eschen, Eichen 2c. bei — 11 bis 13° R., Apfelbaumwurzeln schon bei — 5° R.). Ähnlich verhalten sich unterirdische Teile krautartiger Pflanzen, wie Wurzeln, Wurzelstöcke und Zwiebeln, die nur durch den Schutz des Bodens und Schnees sich erhalten, an der Luft aber schon von mäßigen Kältegraden getötet werden[2]). Hier findet wohl auch das eine befriedigende Erklärung, was Göppert[3]) als eine Verzärtelung der Pflanzen in den Gewächshäusern bezeichnete, womit er das leichtere Erliegen derselben

[1]) Bot. Zeitg. 1862, Nr. 39.

[2]) Göppert, Sitzber. d. schles. Ges. f. vaterl. Kultur, 14. Dez. 1874.

[3]) Wärmeentwickelung, pag. 63.

beim Froste im Sinn hatte; es kann dies wohl nur daher rühren, daß die Triebe in der feuchten Luft der Gewächshäuser saftreicher und zarter sind, indem die höhere Temperatur sie nicht zu einem völligen Abschluß der Vegetation gelangen läßt. Jene Thatsache ist übrigens auch von Haberland[1]) konstatiert worden: Weizen, Gerste, Wicken u. a., die im Warmkasten bei 20—24° C. gezogen worden waren, erfroren bei — 6° C., dieselben im Kalthause bei 10—12° C. gezogen, gingen erst bei — 9 bis — 12° C. zu Grunde. Auffallend ist die große Resistenz vieler niederen Pflanzen; Moose dürften kaum durch die Winterkälte getötet werden; Göppert hat mehrere Laubmoose durch künstliche Kältemischung bis auf — 36° abgekühlt, ohne daß dieselben Schaden litten. Selbst saftige Lebermoose, wie Pellia, Marchantia, können an schneefreien Stellen hart gefrieren, ohne getötet zu werden. Es dürfte dies wohl damit zusammenhängen, daß Moose vollständig eintrocknen können, ohne dadurch ihre Lebensfähigkeit zu verlieren. Diatomaceen sollen — 20° R. lebend ertragen[2]), während Spirogyren und Konferven schon nach Erstarren der Flüssigkeit sterben sollen. Doch sah Dodel-Port[3]) Ulothrix zonata ohne Schaden einfrieren. Nach Schumacher[4]) sind Hefezellen nach einer Abkühlung mittelst Kältemischung auf — 113° C. noch sprossungsfähig. Unter den Pilzen sind die perennierenden, festeren, lederartigen und holzigen Hymenomyceten, welche ohne Schneeschutz an Baumstämmen wachsen, gegen die stärkste Winterkälte unempfindlich. Die wasserreichen fleischigen Pilzformen sind zwar minder resistent; allein auch von ihnen ist nachgewiesen, daß sie steif gefrieren und nach dem Auftauen fortleben können, wie dies Schmitz[5]) bei Agaricus fascicularis und Fries[6]) bei vielen andern beobachtete, die in diesem Entwickelungszustande den skandinavischen Winter ohne Schaden überstehen. Minder auffallend scheint die große Unempfindlichkeit der Flechten, welche auf ihren Standorten an Baumstämmen und an schneefreien Felsen des äußersten Nordens und der höchsten Gebirge die stärksten natürlichen Kältegrade ertragen, denn diese Pflanzen sind ja überhaupt sehr wasserarm und können bekanntlich vollständig austrocknen und dennoch wieder aufleben, sobald ihnen wiederum Wasser zugeführt wird.

---

[1]) Centralbl. f. Agrikulturchemie 1., pag. 469.

[2]) Schumann, Schriften d. ökon.-physik. Societ. Königsberg 1862, 2. Heft.

[3]) Bot. Zeitg. 1876, Nr. 12.

[4]) Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wissensch. Wien, 11. Juni 1874.

[5]) Linnaea 1843, pag. 445.

[6]) Ann. des sc. natur. T. XII, pag. 5.

Akklimatisation.

An die Betrachtung der vorerwähnten Thatsache schließt sich die Frage, ob es möglich ist, die Frostempfindlichkeit der Pflanzenarten zu vermindern oder mit andern Worten: Pflanzen wärmerer Klimate bei uns zu akklimatisieren. An dem einzelnen Individuum ist das natürlich nicht möglich, ebenso wenig an den durch Stecklinge gewonnenen Pflanzen, da diese alle Eigenschaften der Mutterpflanze beibehalten. Wohl aber ist diese Möglichkeit gegeben bei der Züchtung von Varietäten aus Samen. Denn es treten bei der geschlechtlichen Fortpflanzung neben den Artverschiedenheiten auch individuelle Verschiedenheiten auf; es variieren nicht bloß morphologische, sondern auch physiologische Eigentümlichkeiten, und unter diesen auch die Widerstandsfähigkeit gegen Frost[1]; so ergeben sich härtere Varietäten, welche einer gewissen Kälte noch widerstehen, welcher die andern schon erliegen. Durch Auslese solcher härteren Varietäten und Weiterzüchtung derselben kann also innerhalb gewisser Grenzen eine Akklimatisation bewirkt werden.

IV. Lokale Beschädigungen durch den Frost an den Pflanzen.

Nicht immer wird die ganze Pflanze vom Froste getötet, sehr oft beschränken sich die Frostbeschädigungen auf einzelne Stellen der im übrigen am Leben bleibenden Pflanzenteile und man findet dann, wenn längst der Frost vorüber ist, im Sommer oder selbst nach noch längerer Zeit an der lebenden Pflanze schadhafte Stellen, welche auf die Einwirkung von Winter- oder Frühjahrsfrösten zurückzuführen sind. Wir stellen im folgenden verschiedene Erscheinungen zusammen, welche sich am besten unter diesem Gesichtspunkt vereinigen lassen.

Aufziehen der Saaten durch den Frost.

1. Das Aufziehen der Saaten durch den Frost oder das Auswintern bezeichnet eine seit langer Zeit bekannte und von den Schriftstellern erwähnte Erscheinung[2]. Wenn wiederholt Frost und Erwärmung schnell mit einander abwechseln, so taut die oberste Erdlage auf und erfüllt sich mit Wasser; wenn dieses in der Nacht wieder gefriert, so hebt es die obere Erdrinde und damit auch die in dieser befindliche junge Pflanze in die Höhe. Diese Hebung ist wohl teils auf die Ausdehnung des gefrierenden Wassers überhaupt, teils auf die oben (S. 184) erwähnte Bildung nadelförmiger, den Boden heben-

[1] Vergl. Noll, Landwirtsch. Jahrbücher 1885, pag. 707.

[2] Vergl. Göppert, Wärmebildung, pag. 235. Treviranus, Physiologie der Gewächse II., pag. 707. Kühn, Krankheiten der Kulturpflanzen, pag. 11. Breymann, Auswintern des Weizens, des Rapses und des Rotklees. Centralbl. f. Agrikulturchemie 1881.

der Eiskristalle zurückzuführen. Wenn dann bei Tage die Erde auftaut, so setzt sie sich wieder; die Pflanzen aber können nicht wieder zurück, und indem sich dies mehrmals wiederholt, ist endlich die Pflanze mehr oder weniger herausgehoben, die Wurzeln liegen bloß und sind zum Teil abgerissen, wenn die gefrorene tiefere Bodenschicht ihre Spitzen zurückhielt. Das beste Vorbeugungsmittel dürfte eine frühzeitige Aussaat sein, welche eine genügend kräftige Bewurzelung der jungen Getreidepflanzen vor dem Winter gestattet; sehr poröser und feuchter, nicht drainierter Boden wird das Übel begünstigen. Aufgezogene Saaten müssen bald nach Weichen des Frostes und der Nässe gewalzt werden, um die Pflanzen anzudrücken und die Bildung neuer Wurzeln zu veranlassen.

Dürre Blattflecken.

2. Dürre, mißfarbige Blattflecken. Die exponiertesten Stellen der jungen Blätter sich öffnender Knospen erfrieren oft für sich allein bei Frühjahrsfrösten, während der übrige Teil des Blattes nicht beschädigt wird und sich weiter ausbildet. Aus diesem Grunde sind an den zeitig ausschlagenden Holzpflanzen oft die Blattspitzen der ersten, ältesten Blätter dürr, braun oder schwärzlich, ebenso am Getreide die ältesten Blätter an der Spitze oder bis zur Mitte oder bis zur Blattscheide abgestorben, dürr, bleich oder bräunlich, im übrigen Teile gesund und grün; und ähnliches zeigen auch die Blätter zeitiger Kräuter. Bei Bäumen mit gefalteter Knospenlage bekommen die Blätter auf den erhabenen Falten zwischen den Nerven in einer Reihe stehende braune, trockene Stellen, endlich Löcher oder zusammenhängende Spalten, die bis an den Rand gehen können. So hat A. Braun[1]) zuerst aufmerksam gemacht auf die Einwirkung des Frostes auf die noch gefalteten Blättchen von Aesculus Hippocastanum, wodurch an denselben verschiedenartige fiederspaltige Bildungen eintreten, was man fast in jedem Jahre bei uns sehen kann. An Acer campestre und platanoides fand ich solche Beschädigungen in der Blattfläche zwischen den handförmigen Hauptrippen, also ebenfalls an den Stellen, wo das junge Blatt gefaltet ist, in allen Übergängen von der bloßen, durch graue Färbung angedeuteten Verderbnis der Oberhaut bis zu völlig dürren oder durchlöcherten Stellen, zugleich mit ebensolchen Beschädigungen am Blattrande und anderen Stellen der Blattfläche, wodurch es unzweifelhaft war, daß es sich hier um Wirkungen des Frostes, nicht um Verwundungen durch den Wind oder andre Einflüsse handelte. Bei Polygonum orientale, wo die Lamina der jungen Blätter von beiden Rändern her eng eingerollt ist, werden durch den Frost die

[1]) Monatsber. d. Akad. d. Wiss. Berlin 18. Juli 1861.

momentan auswendig befindlichen Teile der Rollen beschädigt; ich sah infolgedessen später am übrigens gesunden und entfalteten Blatte in beiden Hälften der Blattfläche, stets gleichweit von der Mittelrippe, je einen bis zur Blattspitze laufenden Streifen brauner Flecken oder Löcher. Über die Meinung anderer Beobachter, welche alle diese Erscheinungen für Wirkung des Windes erklärten, ist das Kapitel über die Luftbewegungen zu vergleichen. — Auch schon weiter ausgebildete Blätter können durch Frostwirkung an ihren Rändern vertrocknen oder auch auf ihrer Fläche kleine graue Flecken bekommen, an welchen die Epidermis abgestorben und vertrocknet, oft auch die Zellen des darunter liegenden Mesophylls zusammengeschrumpft sind und weite lufthaltige Lücken zwischen sich bilden; es sind die Stellen, wo beim Gefrieren Eisbildung stattfand (S. 181). Solche Stellen können sich mitten im gesunden Gewebe befinden, wie denn überhaupt an demselben Blatte gesunde und erfrorene Stellen mit einander abwechseln können, was dann den ganzen Sommer über stationär bleibt. Besonders sind an zeitigen Frühjahrspflanzen später oft alle Übergänge zwischen teilweise und ganz durch Frost verdorbenen Blättern zu finden.

Abfrieren der Triebe bei den Holzpflanzen.

3. **Abfrieren der jungen Triebe und Triebspitzen bei Holzpflanzen.** Die diesjährigen jungen Triebe der Holzpflanzen können durch Maifröste vollständig verloren gehen. Der Verlust derselben durch Frost hat dann dieselben Folgen wie der durch Verstümmelung, d. h. es werden aus Knospen an der Basis des erfrorenen Triebes Ersatztriebe gebildet, deren verschiedener morphologischer Charakter bereits oben (S. 93 ff.) bei Gelegenheit der Verstümmelung erörtert worden ist. Selbstverständlich findet dies nur dann statt, wenn der ganze Sproß gleich nach dem Ausschlagen durch den Frost getötet worden ist, während wenn an dem schon weiter ausgebildeten Sprosse der Frost nur das Laub getötet hat, ein proleptischer Ausschlag der Knospen dieses diesjährigen Sprosses stattfinden kann.

Ein Abfrieren der Zweigspitzen tritt als regelmäßige Erscheinung alljährlich im Herbste in unserem Klima ein an denjenigen Holzpflanzen, für welche unsre Sommer zu kurz sind, um ihre vollständige Entwickelung zu ermöglichen, so daß der Frost die noch nicht ausgereiften Triebspitzen tötet, wie es besonders bei Morus, Broussonetia, Robinia bei uns, aber nicht im Süden vorkommt[1]).

Erfrieren der Baumblüten.

4. **Erfrieren der Obstbaumblüten, weißspitzige Roggenähren.** Da unsere Obstbäume im Frühjahre vor der Belaubung

---

[1]) Mohl, Bot. Zeitg. 1848, pag. 6.

blühen, so sind ihre Blüten durch Frühjahrsfröste mehr gefährdet, als die erst später erscheinenden Laubtriebe, und es gehört bekanntlich nicht zu den Seltenheiten, daß die eben sich öffnenden Blüten durch einen Frost zerstört werden, während dabei alle übrigen Teile des Baumes nicht leiden. Selbstverständlich kann solches auch bei andern frühblühenden Gehölzen vorkommen.

Weißspitzige Roggenähren.

Bisweilen sieht man viele oder fast alle Ähren eines Roggenfeldes mit weißen Spitzen, indem die obersten Blüten oder sogar die Blüten in der ganzen oberen Hälfte der Ähre tot sind und keine Körner produzieren. Es rührt dies daher, daß zur Zeit, wo die noch weiche junge Spitze der Ähre eben aus der obersten Blattscheide hervorkam, ein Frost auftrat, durch welchen der nicht geschützte hervorstehende Teil der Ähre beschädigt wurde. Die in der Scheide verborgen gewesenen und dadurch geschützt gebliebenen Teile der Ähre kommen selbstverständlich hinterher unbeschädigt zum Vorschein. Die weißen toten Spitzen bleiben dann natürlich dauernd sichtbar.

Erfrieren der Rinde und des Holzes der Bäume.

5. **Beschädigung der Rinde und des Holzes der Bäume durch Frost; Rindenbrand, Frostkrebs** rc. Sehr mannigfaltig sind die lokalen Beschädigungen, welche der Frost an den Stämmen und Zweigen der Holzpflanzen hervorbringt. Die krankhaften Stellen, welche auf diese Weise an den genannten Pflanzenteilen entstehen, werden von den Praktikern mit verschiedenen Namen belegt. Wir werden im Nachfolgenden diese Erscheinungen, so weit als es ihrer Natur nach möglich ist, von einander unterscheiden und für sich gesondert betrachten.

Rindenbrand.

a) **Rindenbrand** oder **Brand** schlechthin bezeichnet den Zustand, wo an den Stämmen oder Ästen der Bäume kleinere oder größere Rindenpartien zusammentrocknen, so daß man sie vom Holzkörper losbrechen kann. Sie werden eigentlich erst im Frühling oder Sommer bemerkbar, indem diese Rindenstellen dann ihren Saft soweit verloren haben, daß sie nun abgestorben, gebräunt und zusammengetrocknet erscheinen. Solche Brandstellen umfassen oft einen großen, bisweilen meterlangen, verschieden breiten Rindenstreifen. Aber an dünneren Stämmchen und Ästen kommen auch kleinere Brandstellen vor, die sogenannten **Frostplatten**, wo in der im übrigen gesunden Rinde an einem Punkte, bisweilen rings um eine Knospe herum, die Rinde eingesunken und ganz glatt oder etwas faltig ausgetrocknet ist (Fig. 27 1a) Nach geringfügigere Beschädigungen der Rinde sind die von **Sorauer**[1])

[1]) Pflanzenkrankheiten. 2. Aufl. I., pag. 317, und Zeitschrift f. Pflanzenkrankheiten I. 1891, pag. 137.

als Frostblasen, Frostrunzeln und Frostschorf bezeichneten Erscheinungen, die an jüngeren Apfel- und Birnstämmchen sich zeigen: kleine Erhabenheiten, die mehr oder weniger zusammenfließen und dann durch Längs- und Querrisse zerklüftet sein können, wodurch die Rinde zu einer schuppig gefelderten, schorfartigen Masse wird. Es zeigen sich an diesen Stellen in der äußeren primären Rinde Stellen toten gebräunten Gewebes, oft mit tangentialen Spalten in der Mitte; diese Stellen sind später von Kork umwallt und dadurch vom lebenden Rindengewebe abgegrenzt; oft hat auch eine Reaktion des lebenden Gewebes gegen diese toten Stellen hin in der Weise stattgefunden, daß ein neues Teilungsgewebe gebildet wurde, welches radiale Zellreihen erzeugte, oder daß die Zellen radiale Streckungen gegen die tote Stelle hin zeigen; dadurch werden die Erhabenheiten der Oberfläche und die Zerreißungen der Korkschicht hervorgebracht; die tieferen Lagen der Rinde können aber dabei gesund geblieben sein und die Stämme stoßen in späterem Alter den Schorf ab.

Daß der Frost sowohl die großen wie die kleinen Rindenbrandstellen verursachen kann, unterliegt keinem Zweifel. Die Stämme zeigen diese Beschädigungen oft auf der Südseite, weil hier durch die Frühjahrssonne oder auch schon durch die Wintersonne die Lebensthätigkeit der Rinde zuerst geweckt wird und die Rinde in Saft tritt, so daß dann Fröste an dieser Seite tödlich werden müssen. Übrigens ist es Sorauer[1]) gelungen, durch künstliche Kälte an Obstbaumzweigen Ende Mai die gleichen lokalen Beschädigungen, wie wir sie als Frostplatten beschrieben haben, zu erzeugen.

In der That hat auch Müller-Thurgau[2]) Mitte März an den Stämmen von Prunus domestica gefunden, daß der Wassergehalt der Rinde auf der Südseite 53,8 Prozent, auf der Nordseite nur 48,5 Prozent betrug, während ein mit Schilf eingebundener Stamm zu derselben Zeit auf der Südseite 51,5 Prozent, auf der Nordseite 51,3 Prozent Wasser enthielt. Bestätigungen solcher Winterbeschädigungen der Baumstämme an der Südseite giebt Nördlinger[3]).

Die Folgen des Rindenbrandes richten sich nach der Tiefe, bis zu welcher das Absterben der Rinde erfolgt ist, und natürlicherweise auch nach der Ausdehnung, in welcher er an dem Stamme oder dem Äste aufgetreten ist. Kleinere Frostplatten zeigen oft nur die Außenschichten

---

[1]) Pflanzenkrankheiten. 2. Aufl. I., pag. 430.

[2]) Deutsche allgem. Zeitg. f. Landwirtsch., Gartenbau und Forstwesen. 30. Juli 1882.

[3]) Baumphysiolog. Bedeutung des kalten Winters 1879/80. Illustrierte Gartenzeitung 1881.

der Rinde gebräunt und getötet, aber die inneren und namentlich das Cambium unversehrt. Diese sind ungefährlich, denn hier setzt die Cambiumschicht ihre Thätigkeit in der Bildung von Holz und Rinde normal fort, die Frostplatte ist nach einiger Zeit nicht mehr bemerkbar, weil die abgestorbenen äußeren Rindenschichten inzwischen durch die neugebildeten nach außen gedrängt und mit in die Region der Peridermbildung übergegangen sind. Einigermaßen große Brandstellen aber gehen bis auf das Cambium und den Splint, so daß auch diese Gewebe getötet sind und daher ein bedenklicher Krankheitszustand vorliegt. Selbstverständlich hört dann in der ganzen Ausdehnung der Brandstelle das Dickenwachstum des Holzkörpers auf; so sieht man z. B. in unserer Fig. 27,1 bei d eine ältere Brandstelle in der Seitenansicht in Form einer Einbuchtung, weil an dieser Stelle der Baum seit Jahren keine neuen Verdickungsschichten mehr unter der toten Rinde gebildet hat; dafür hat er aber auf der gesunden Seite um so stärker Holz angesetzt und ist deshalb tonnenförmig ausgebaucht. Bei größeren Rindenbrandstellen kommen in den folgenden Jahren immer tiefer in den Stamm eindringende Zersetzungserscheinungen des Holzkörpers (S. 106) hinzu, woran oft pflanzliche und tierische Feinde sich beteiligen; beim Steinobst stellt sich oft in der Umgebung der toten Stelle Gummifluß (S. 51) ein. Solche gefährliche Brandstellen müssen bis aufs gesunde Holz ausgeschnitten und dann mit Theer bestrichen werden. Wenn nicht, so geht die Zersetzung des Holzkörpers immer weiter und schließlich kann der ganze Stamm derart morsch werden, daß der Sturm ihn umbricht. Ist an den Ästen in einigermaßen größerer Ausdehnung Rindenbrand eingetreten, so hat das oft den baldigen Tod dieser Äste zur Folge; manchmal treiben wohl solche Stämme und Äste, die man schon durch den Frost getötet wähnt, dann doch noch Blätter und Blüten, freilich in verminderter Fülle; aber es kommt auch vor, daß, nachdem die noch lebend gebliebenen Knospen getrieben haben, doch im Sommer die Blätter schnell anfangen zu welken und abzufallen und daß der Baum in demselben Sommer oder erst nach mehrjährigem Siechtum eingeht. Bisweilen verheilt aber auch eine solche bis aufs Cambium und auf den Splint getötete Brandstelle von selbst durch Überwallungen (S. 74), welche sich oft unter der bedeckenden toten Rinde von den gesunden Rändern der Stelle aus nach einer längeren Reihe von Jahren über den toten Teil des Holzkörpers hinwegschieben. Ist dann auf diese Weise eine solche Brandstelle ganz verheilt, so findet man später auf dem Querschnitte des Stammes die betreffende Stelle wieder, indem etwas toter, dunkler Splint und tote Rinde völlig von gesundem Holze überwachsen sind;

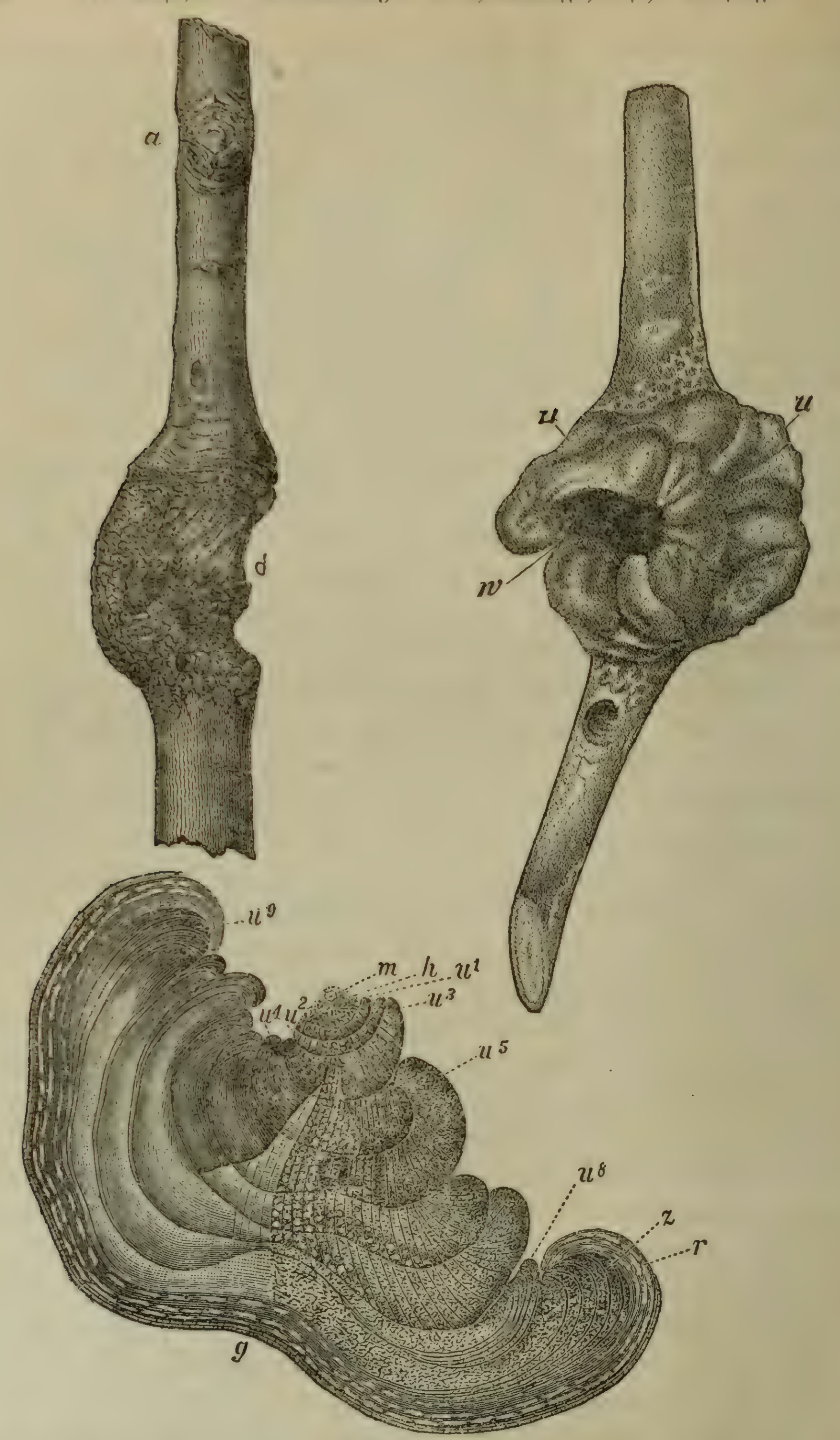


Fig. 27.

Rindenbrand und Frostkrebs der Obstbäume. 1 Zweigstück mit einer jungen a und einer älteren Brandstelle d. 2. Zweigstück mit einer geschlossenen Krebsstelle, wo die Überwallungsränder u bis zu einer Spalte w sich schließen. 3. Querschnitt durch eine große offene Krebsstelle, Erklärung im Texte. Nach Sorauer.

und aus den Jahresringen des Überwallungsholzes kann man das Jahr des strengen Winters richtig ausrechnen (Buffon's und Duhamel's „verborgene Eisklüfte", citiert bei Göppert, l. c. S. 3).

b) Frostkrebs. Was man bei den Bäumen generell Krebs nennt, unterscheidet sich vom Rindenbrand nur darin, daß an den Rändern solcher toter Stellen üppige Überwallungswülste vorhanden sind und zwar derart, daß bei fortgeschrittenem Zustande mehrere Überwallungswülste sich einander terassenförmig umgeben, weil nämlich die einzelnen Überwallungswülste meist nach ihrer Altersfolge immer wieder abgestorben sind und nur ein äußerster, nämlich der, welcher augenblicklich der jüngste ist, lebend vorhanden ist. Die Ursache, daß auch die Überwallungswülste immer wieder absterben, ist der in jedem Winter wiederkehrende Frost, gegen den gerade die neugebildeten Überwallungswülste am wenigsten widerstandsfähig sind. Der Krebs charakterisiert sich also als ein beständig erneuter, aber stets wieder fehlschlagender Heilungsversuch der Pflanze durch Überwallung und somit als ein oft beständig weiter fressendes Übel. Man redet von offenem oder brandigem Krebs, wenn eine mehr oder weniger große tote Centralstelle bleibt, die von den Rändern her in der eben beschriebenen Weise terrassenförmig umwallt ist (Fig. 27,3); geschlossener Krebs heißt derjenige, dessen Überwallungsränder die Wunde in kurzer Zeit bis auf eine kleine Spalte schließen (Fig. 27,2); natürlich bestehen zwischen beiden Zuständen alle Übergänge. Fig. 27,3 zeigt eine große offene Krebsstelle im Querschnitt; sie reicht bis auf das Mark m; u_1, u_2, u_3 ꝛc. sind die Überwallungsränder der successiven Vorjahre; nur der diesjährige ist mit lebender Rinde (r) bekleidet; die anderen sind alle durch Frostwirkungen getötet. Wenn eine Krebsstelle endlich den ganzen Umfang eines Stammes oder Astes umklammert hat, so stirbt selbstverständlich der über der Krebsstelle befindliche Teil ab.

Frostkrebs.

Krebs kann durch verschiedene Ursachen, zumal auch durch tierische oder pilzliche Feinde, veranlaßt werden. Von den nicht durch Temperatureinflüsse verursachten Krebserscheinungen wird daher auch erst an andrer Stelle dieses Buches die Rede ein. Daß nun wirklich der Frost die Ursache des Krebses sein kann, darüber besteht unter den zuständigen Fachmännern kein Zweifel mehr. Es ist nur in vielen Fällen, wo von Krebs geredet wird, nicht ersichtlich, um welche der möglichen Ursachen es sich gehandelt haben mag. Beim Krebs der Obstbäume, besonders der Apfelbäume (wo allerdings vielfach auch die Blutlaus die Ursache ist), haben Sorauer[1]) und

Krebs der Obstbäume.

[1]) Handb. d. Pflanzenkrankh. 1. Aufl., Berlin 1874, pag. 199, u. 2. Aufl. pag. 399. Vergl. auch Tageblatt d. Naturf.-Versamml. zu Hamburg 1876.

(Göthe[1]) auch den Frost als die Ursache festgestellt. Nach Sorauer erscheint das erste Stadium des Frostkrebses als eine schwache Auftreibung, über welcher die alte Rinde gesprengt und lippenförmig gespalten ist; denn sie stellt zwei Überwallungsränder eines Spaltes dar, welcher bis auf das junge Holz gedrungen war und dort eine braune, tote Partie erkennen läßt. Besonders häufig entsteht diese Beschädigung um die Knospen und die Basis der Zweige, indem Rinde und Holz hier am leichtesten durch den Frost verwundet werden können. Darum steht auch häufig in der Mitte einer offenen Krebswunde ein Zweigstumpf als kurzer, brauner Zapfen. Sorauer hat auch die Erklärung für das leichte Gefrieren der Überwallungswülste gegeben durch die Beobachtung, daß in diesen Wülsten der Holzkörper durch üppige Jahresringbildung übermäßig verdickt ist, wobei eine abnorm starke Wucherung von Holzparenchym zu bemerken ist, welches hier vor den normalen Bestandteilen des Holzes vorwaltet und welches als besonders frostempfindlich gelten darf. Auch in der Rinde der Krebsüberwallungen ist insofern eine Abweichung zu finden, als die Hartbastfasern hier spärlicher als in der normalen Rinde auftreten. In diesem üppigen Wachstum und dieser abnormen Struktur der Überwallungswülste liegt der charakteristische Unterschied vom Rindenbrand, indem, wenn bei der letzteren Heilung durch Überwallung in Gang kommt, die letztere schmalringig und von vorwiegend normal prosenchymatischer Struktur ist. Die Weichheit des Gewebes der Krebswucherungen zeigt sich auch darin, daß nach Sorauer normales Holz 66,9 Prozent, Krebsholz nur 45,1 Prozent Trockensubstanz ergab. Eine genügende Erklärung für die abnormen Bildungsthätigkeiten bei dem Wachstum der Überwallungen des Frostkrebses ist freilich noch nicht gegeben worden. Ebenso wird eine genügende Erklärung fehlen für die Thatsache, wenn sie sich bewahrheitet, die von manchen Praktikern behauptet wird, daß der Obstbaumkrebs sich bisweilen übertrage, indem Edelreiser, von einem krebsfreien Stamme entnommen, auf eine krebskranke Unterlage gepfropft, ebenfalls mit Krebs behaftet werden; umgekehrt ist auch behauptet worden, daß krebsige Edelreiser die Unterlage anstecken. Reiche Düngung soll die Disposition für Krebs erhöhen. Man darf wohl mit Sorauer die Erklärung hierfür darin finden, daß durch reichliche Gaben stickstoffhaltiger Düngung die Bildungsthätigkeit der Pflanze verlängert wird und daher die Pflanze weniger ausgereift in den Winter kommt. Auch soll nasser, kühler

[1]) Mitteilungen über den Krebs der Apfelbäume. Leipzig 1877, und Frostschäden der Obstbäume. Berlin 1883.

Standort den Krebs begünstigen, vermutlich weil die Zellen solcher Pflanzen saftreicher und dünnwandiger sind. Auch soll übermäßiges Zurückschneiden der Obstbäume zum Krebs geneigt machen, was Sorauer aus einer erhöhten Produktion weichen Rindenparenchyms bei solchen stark zurückgeschnittenen Stämmen zu erklären sucht.

Krebs der Rotbuche.

Auch der Krebs der Rotbuche wird nach R. Hartig[1]) durch Einwirkung des Frostes veranlaßt. Nach diesem Beobachter entsteht an Buchen und andern Holzarten in Frostlagen der Frostkrebs durch die Einwirkung der Mai- und Junifröste. Es werden dadurch Zweige getötet, und das Absterben pflanzt sich von der Basis derselben aus weiter fort, wodurch Krebsstellen rings um dieselbe entstehen. Am Rande der Krebsstelle bildet sich ein Überwallungswulst, und da die Rinde desselben anfänglich nur ein dünnes Periderm hat, so tötet ein scharfer Frost, wenn die Cambialthätigkeit bereits erwacht ist, das wenig geschützte Cambium des Krebsrandes; daher vergrößert sich die kranke Stelle im ganzen Umfange. Außerdem nimmt Hartig an den Buchen als Ursache des Krebses ebenfalls Pflanzenläuse und in einem Falle auch Schmarotzerpilze an.

Krebs des Weinstockes.

Der Krebs oder Grind des Weinstockes tritt an den älteren Stämmen, immer ungefähr 10—50 cm vom Boden entfernt auf, in Form einer kleineren oder größeren tonnenförmigen Anschwellung mit perlartig unregelmäßiger Oberfläche, welche durch die der Länge nach faserig zerschlitzte ältere Rinde hervortritt. Nach Göthe[2]) giebt sich diese Wucherung als Folge des Frostes dadurch zu erkennen, daß an derselben Stelle der Holzkörper des Stammes eine längs verlaufende Spalte und eine mehr oder weniger umfangreiche tiefe Bräunung zeigt; die Spalten befinden sich an der Grenze eines Jahresringes und deuten darauf hin, daß sie zur Zeit der Bildung des neuen Jahresringes durch Tötung der Cambiumschicht entstanden sind. Die perlartigen Wucherungen sind nach Göthe die von den gesunden Stellen aus eingeleiteten Überwallungen, deren eigentümliche Form dieser Beobachter als ein wirkliches Ineinanderhineinwachsen der üppigen Überwallungswülste erklärt. Nach Sorauer[3]) sind jedoch die Krebsknoten des Weinstockes keineswegs immer eigentliche Überwallungen, sondern vielmehr oft unmittelbar lokale Wucherungen der Cambiumschicht, die an einzelnen Markstrahlen beginnend, Komplexe parenchymatischen, weichen

[1]) Tageblatt der Naturforscher-Versamml. zu München 1877, pag. 207, und Untersuchungen aus dem forstbot. Inst. zu München I., pag. 135.

[2]) Mitteilungen über den schwarzen Brenner und den Grind. Berlin und Leipzig 1878, pag. 28.

[3]) Pflanzenkrankheiten. 2. Aufl. I., pag. 417—420.

Holzgewebes und eine entsprechende Wucherung von Rindengewebe, welches durch die alte Rinde hervorbricht, produziert. Ähnliche Krebsknoten hat Sorauer (l. c.) auch an Spiraea opulifolia beobachtet. Sind die Krebsstellen nur geringfügig, so bleibt ein solcher Stamm am Leben, bei starker Entwickelung der Geschwulst stirbt der Stamm oberhalb derselben ab. Dafür, daß der Krebs am Weinstock durch Verletzung der Cambiumschicht durch Frühjahrsfröste erzeugt wird, sprechen nicht nur die Erfahrungen der Weinbauern und der Umstand, daß er sich nur in den sogenannten Frostlagen zeigt, sondern auch ein Versuch Göthe's, welcher ebensolche grindartige Wucherungen entstehen sah an den Stellen, wo Reben im Frühjahre absichtlich mit einem Eisen bis zur Verletzung der Cambiumschicht geklopft worden waren.

Die Krebsstellen sind thunlichst auszuschneiden bis aufs gesunde Holz und dann mit Theer zu bestreichen. Als Vorbeugung gegen Krebs wie gegen Rindenbrand wird alles das gelten dürfen, was zur vollständigen Ausreifung des Stammes und der Zweige vor Beginn des Winters beiträgt, sowie die möglichste Vermeidung aller der Faktoren, welche oben als krebsbegünstigend genannt worden sind.

Frostspalten. c) Beschädigungen des Holzkörpers durch Frost. Hierher gehört hauptsächlich die seit langer Zeit unter dem Namen Frostspalten, Frostrisse oder Eisklüfte bekannte Erscheinung, die darin besteht, daß im Freien stehende Bäume in kalten Wintern der Länge nach, bis ins Holz, oft bis aufs Mark sich spalten. Nach den darüber besonders von Caspary[1]) angestellten Beobachtungen geschieht dies nur bei bedeutender Kälte, mindestens bei — 14°, und betrifft fast nur stärkere Stämme zwischen 18 cm und 1 m Dicke. Das Bersten soll mit einem starken Knall verbunden sein. Die Weite der Kluft des Frostrisses beträgt meistens mehrere Millimeter, seltener bis 4 cm. Im Sommer schließen sich die Frostspalten und beginnen durch Überwallungen zu heilen, pflegen jedoch im folgenden Winter oft wieder aufzubrechen, sobald starke Kälte eintritt. Die einmal entstandenen Frostrisse schließen und öffnen sich auch mit dem Wechsel von Tauwetter und Frost, und die Weite des Spaltes ist der Kälte proportional; das Schließen erfolgt aber viel langsamer als das Öffnen. Durch Caspary's Untersuchungen ist es hinreichend dargethan, daß die Frostspalten dadurch entstehen, daß das Holz durch den Frost in der Richtung des Umfanges sich stärker zusammenzieht als in der Richtung des Radius. Der Vorgang beruht auf derselben Ursache, wie die gleichen

---

[1]) Bot. Zeitg. 1855, pag. 449—500, wo auch die ältere Litteratur zu finden; ferner Bot. Zeitg. 1857, pag. 329—371.

Erscheinungen beim Schwinden des Holzes infolge von Austrocknung. Denn durch das Auskristallisieren des Wassers aus den Membranen der Holzelemente vermindern die letzteren ihr Volumen am stärksten in tangentialer Richtung, gerade so wie beim Austrocknen. Die Spalte entsteht da, wo der geringste Widerstand ist, also wo irgend eine schwache Stelle des Stammes (ein künstlicher Längsschnitt, eine Rindenverletzung, ein abgehauener Ast oder ein Astloch, eine Krebsbildung oder eine faule Stelle im Holze) der Spannung nachgiebt. Bei wiederholtem Aufspringen der durch Überwallung geschlossenen Frostspalten entstehen, weil sich jede nächste Jahresschicht der Überwallung über die frühere mit nach außen gerichteter Konvexität legt, leistenartige Hervorragungen, Frostleisten, welche bisweilen eine bedeutende Höhe erreichen und auf dem Querschnitte gewöhnlich konisch und in der Mitte von dem Frostrisse durchzogen erscheinen. Göppert[1]) hat dergleichen an Roßkastanien, Rotbuchen und Weißtannen beobachtet und beschrieben. Sie verlaufen wegen der spiraligen Drehung des Holzstammes ebenfalls in einer Spirale bisweilen bis in die Krone. Bald kommt nur eine einzige, bald zwei gegenüberstehende oder auch vier, bisweilen in regelmäßigen Abständen stehende Frostleisten vor, wodurch der Stamm eine vierseitige Form erlangen kann. Durch mehrfache Frostrisse kann der Stamm innerlich zertrümmert werden. Frostspalten, welche lange Zeit sich nicht schließen, geben Veranlassung zur Fäulnis der Wundstellen, besonders bei Laubhölzern, während bei Nadelbäumen die Frostspalte sich meist mit Harz füllt, welches konservierend wirkt. Göppert hat Frostrisse an 76 Arten von Gehölzen aus den verschiedensten Familien aufnotiert.

Innere Bräunungen des Holzkörpers.

Auch bloße Bräunungen im Innern des Holzkörpers können nach Göppert's[2]) Beobachtungen an Obstbäumen und nach denen R. Hartig's[3]) an Nadelbäumen durch den Frost verursacht werden. Als eine Folge der Tötung des Gewebes stellt sich eine ringförmige Bräunung in der Markröhre und bisweilen auch in dem dieser zunächst liegenden Markstrahlgewebe ein, so daß vom gebräunten Ringe des Markes braune Streifen gegen die Rinde gehen. Bei diesem Zustande können Cambium und Rinde gesund sein; es werden dann in normaler Weise gesunde Holzringe gebildet, und man findet nach

[1]) Über die Folgen äußerer Verletzungen der Bäume. Breslau 1873, pag. 30—36.

[2]) Wärme-Entwickelung, pag. 31—34 und Folgen äußerer Verletzungen der Bäume, pag. 23—27.

[3]) Zersetzungserscheinungen des Holzes, pag. 65, und Lehrbuch der Baumkrankheiten. 2. Aufl., Berlin 1889, pag. 262.

Jahren beim Durchschneiden des Stammes im Innern die aus dem Frostjahre herrührenden gebräunten Stellen. Dieselben erscheinen in verschiedener Größe und Form, wobei jedoch eine Hinneigung zu radial gestellter windmühlflügelartiger Form nicht zu verkennen ist, die bisweilen mit solcher Regelmäßigkeit auftritt, daß sie einem eisernen Kreuz ähnelt, wobei das Mark das Centrum bildet. Indessen giebt es nach Göppert auch Bäume, welche selbst bei tödlicher Einwirkung des Frostes, wo die Rinde stark gebräunt ist, doch keine Farbenveränderung im Holzkörper zeigen, so Rhus typhina, Corchorus japonicus, Coronilla Emerus, Robinia Pseudacacia, Pinus Pinsapo. Nach R. Hartig soll besonders bei exotischen Nadelhölzern nach dieser Tötung der Markröhre durch den Frost Anfang Mai der Tod durch Vertrocknen oft plötzlich eintreten; er führt dies darauf zurück, daß die Säfteleitungsfähigkeit in dem vom Froste betroffenen Holzkörper verschwunden ist; bei den Laubhölzern übernehmen in solchem Falle der zeitig gebildete neue Holzring oder die nicht vom Frost getöteten jüngsten Jahresringe die Saftleitung.

Mondringe.

Auch Zerklüftungen des Holzkörpers in einer den Jahresringen folgenden Richtung soll nach Sorauer's[1] Ansicht der Frost veranlassen können. Braune oder weiße Binden von weichem, zunderartig mürbem Gewebe, die ringförmig um einen Teil oder auch um den ganzen Stammumfang herumreichen, bezeichnet man als Mondringe, deren Entstehung meist Pilzen zugeschrieben wird, da oft das zerstörte Gewebe verpilzt erscheint. Nach Sorauer bestehen aber diese Partien schon von vornherein aus lauter Holzparenchym, denn auch die Ränder der toten Stellen, wo sie in das gesunde Gewebe übergehen, zeigen noch diesen abnormen parenchymatischen Charakter. Es handelt sich also um die Bildung von Parenchymnestern an Stelle von normalem Holzgewebe, wo also die Cambiumschicht innerhalb eines Jahresringes ausschließlich solches Gewebe, aus welchem die Markstrahlen bestehen, gebildet hat, also gleichsam erweiterte und zusammengeflossene Markstrahlen. Solche Bildungen sind früher von Roßmäßler als „Markwiederholungen", von Nördlinger als Markflecken" bezeichnet und später von de Bary[2]) als ziemlich verbreitete Erscheinungen beschrieben worden, nur daß man über die Ursachen derselben im Unklaren war Nun hat, wie unten bei den tierischen Feinden erwähnt werden wird, Kienitz für gewisse Fälle den Fraß von Dipterenlarven im Cambium als eine der möglichen Ursachen der Markflecken nachgewiesen. Nach Sorauer soll nun auch der Frost

---

[1]) Pflanzenkrankheiten. 2. Aufl. I., pag. 382.

[2]) Vergleichende Anatomie. Leipzig 1877, pag. 567.

Veranlassung sein können, und zwar dann, wenn im Frühjahr wahrscheinlich infolge einer im Cambium stattfindenden Eisbildung eine Zerreißung und Lockerung in der Cambiumschicht eintritt. Denn immer wenn die lebende Rinde samt dem Cambium vom Holzkörper abgehoben ist, was man nach Sorauer[1]) sowohl durch künstliche mechanische Verwundung als auch durch künstliche Kälte herbeiführen kann, bildet das vom Holzkörper abgelöste Cambium an dieser Stelle auf seiner Innenseite analog wie es beim vorsichtigen Abheben der Rinde samt Cambium ebenfalls gelingt (S. 70) neues Holz, was aber zunächst aus lauter Holzparenchym besteht, um erst nach einiger Zeit wieder zur Produktion normalen Holzgewebes zurückzukehren. Nach Sorauer unterliegt es nun keinem Zweifel, daß gerade solche Parenchymnester im Holzkörper dem Frost am leichtesten erliegen; in einem solchen getöteten Gewebe können später Pilzmycelien als eine sekundäre Erscheinung sich einfinden. Vielleicht sind auch manche Fälle der sogenannten „Kernschäle" auf diese Weise zu erklären; es läßt sich hier ein vollständiger Hohlcylinder von gesundem Holz von einem oft auch gesunden centralen Holzkörper wie eine Hülse ablösen. Denn solche Erscheinungen erwähnt auch Göppert mit dem Hinzufügen, daß man dabei aus der Zahl der Jahresringe das Frostjahr ausrechnen könne.

V. Frostschutzmittel.

Wenn die Sachs'sche Theorie richtig gewesen wäre, daß der Kältetod der Pflanzen sich immer erst beim Auftauen des gefrorenen Pflanzenteiles entscheidet und nur von einem zu schnellen Auftauen desselben herrührt, so würde ein Universalmittel gegen die Frostbeschädigungen sein dafür zu sorgen, daß gefrorene Pflanzenteile möglichst langsam wieder erwärmt werden. Das ist nun aber, wie im Vorhergehenden gezeigt worden ist, nicht allgemein zutreffend, sondern thatsächlich nur auf die wenig häufigen Fälle beschränkt, wo die Zellen saftreicher Gewebe selbst durch und durch gefroren sind, während bei dem gewöhnlichen Gefrieren, welches unter intercellularer Eisbildung eintritt, der damit verbundene Saftverlust der Zellen zur Todesursache wird, der Tod also schon während des Gefrorenseins unabänderlich entschieden ist.

Frostschutzmittel.

Somit sind als sichere Frostschutzmittel nur diejenigen Maßregeln zu betrachten, durch welche der Abkühlung der Pflanzenteile auf diejenige Temperatur unter 0°, bei welcher ihre Säfte aus den Zellen

[1]) l. c. pag. 424.

ausfrieren, verhindert wird. Daher kommen alle diese Mittel darin überein, daß die Pflanze mit schlechten Wärmeleitern umgeben wird.

Natürliche Frostschutzmittel.

Dieser Anforderung genügen erstens die natürlichen Frostschutzmittel, als welche wir die Schneedecke und den Erdboden anzuerkennen haben. Die Schneebedeckung schützt, weil sie die Wärmeausstrahlung des Bodens und das Eindringen der Kälte verhindert und weil sie verhütet, daß das etwa aus den Pflanzengeweben ausfrierende Wasser durch Verdunstung verloren geht. Nach Göppert's Beobachtungen betrug in Breslau die Temperatur unter einer 10 cm hohen Schneedecke auch nach mehrtägiger, sehr heftiger Winterkälte (durchschnittlich — 12,6°) nur — 3°, und selbst bei — 20,5° C. Lufttemperatur nur ungefähr — 6°; der darunter liegende Boden zeigte bei 5 cm Tiefe nur noch — 1° C. Der günstige Einfluß der Schneedecke auf die Wintersaaten ist ebenso allgemein bekannt, wie der Schaden einer heftigen Kälte ohne Schnee. Der jedes Jahr vorhandenen mächtigen winterlichen Schneehülle im höchsten Norden verdankt die Vegetation daselbst ihre Erhaltung in den dort herrschenden kalten Wintern. Unter 78° 50′ nördl. Br. fand man bei — 27,5° R. Lufttemperatur im Schnee in einer Tiefe von 64 cm — 17°, in 1,3 m Tiefe — 13,3° und bei 2,6 m nur — 2,6°. Ebenso ist unter der tiefen Schneedecke auf den Alpen die Temperatur des Bodens im Winter selten kälter als — 2°. In diesen hohen Regionen und Breiten erweist sich der Schutz des Schnees auch in dem Umstande, daß hier die gesamte Vegetation sich unter den Schnee zurückzieht, denn an der Baumgrenze sind die nur in der Strauchform entwickelten Holzpflanzen Winters ganz vom Schnee bedeckt, und die etwa hervorragenden Teile zeigen deutlich genug die Verkrüppelungen, die hier außer den Stürmen wahrscheinlich auch die Frostwirkungen verursachen. Wenn die Schneebedeckung auch die Vegetationsthätigkeit hindert, so konserviert sie doch trotz dieses Stillstandes das Pflanzenleben ungemein lange; im Hochgebirge werden viele pflanzenbedeckte Stellen in manchem Sommer gar nicht schneefrei; die Pflanzen können hier mehrjährigen Winter ertragen, man findet sie unter ihrer winterlichen Hülle zwar in Vegetationsruhe, aber nicht getötet, und wo nur der Schnee weicht, setzen sie ihre Vegetation fort. Dahin gehören auch die Angaben Charpentier's[1]) u. a., wonach Cerastium alpinum und andere Pflanzen Jahre lang unter Gletschereis sich erhielten und nach Zurückgehen des Gletschers fortlebten. Daß auch in der arktischen Zone ähnliches vorkommt, lassen manche Mitteilungen vermuten. Bei uns

---

[1]) Bot. Zeitg. 1843, pag. 13.

ist schon eine dünne Schneeschicht und selbst der Reif ein Schutzmittel gegen Frostschäden. In kalten Wintern mit wenig Schnee empfiehlt es sich, den Schnee aus den Wegen an die empfindlicheren Pflanzen zu werfen. Ebenso schützt der Erdboden die in ihm befindlichen Wurzeln ꝛc. Es ist bekannt, daß auch bei starker und langer Winterkälte der Boden bei uns kaum bis 64 cm Tiefe gefriert und die Temperatur mit der Tiefe unter der Oberfläche rasch zunimmt. Die oben erwähnte Empfindlichkeit der Pflanzenwurzeln gegen Kälte, wenn sie der Luft ausgesetzt werden, erweisen den vom Erdboden ausgeübten Schutz deutlich.

Künstliche Frostschutzmittel.

Die künstlichen Frostschutzmittel erklären sich in ihrer Wirkung alle leicht als schlechte Wärmeleiter; so das Bedecken und Einschlagen empfindlicher Freilandpflanzen mit verschiedenen Deckmaterialien, als Stroh, Schilf, Moos, Laub, Decken ꝛc., das Aufbewahren der Kartoffeln, Rüben, Äpfel u. dergl. in Haufen geschichtet und in die Erde eingemietet, das Bebrausen im Freien wachsender Pflanzen mit Wasser am Morgen nach einem Nachtfroste, um auf ihnen künstlichen Reif oder Tau zu erzeugen. Ein vorzügliches, im großen wirkendes künstliches Frostschutzmittel besteht in dem Anzünden von Rauchfeuern, was schon seit langer Zeit in den Weingärten Südtirols und andern Gegenden Südeuropas üblich ist und mehr und mehr auch anderwärts befolgt wird. In den Weinbergen und um die Feldstücke werden in gewissen Entfernungen Haufen eines sehr viel Rauch entwickelnden Brennmaterials oder Kessel mit Sägemehl und Mineraltheer gefüllt, aufgestellt oder auch Gruben gemacht, in welche mit Theer vermischtes Sägemehl gebracht wird; ist Frost zu befürchten, so werden in der Nacht oder gegen Morgen die Brennmaterialien auf der Windseite angezündet, so daß der Wind die Rauchwolken über das Gelände ausbreitet[1]); dieselben wirken dann wie eine Wolkendecke durch Verminderung der Ausstrahlung. Es empfiehlt sich natürlich, solche Rauchfeuer auf allen an einander grenzenden Grundstücken als eine gemeinschaftliche Maßregel zu veranstalten.

Für die eingangs erwähnten Fälle, wo durch und durch gefrorene saftige Pflanzenteile durch allmähliches Auftauen vor dem Tode geschützt werden können, wie es bei hart gefrorenen Kartoffeln, Rüben, Äpfeln u. dergl. wirklich der Fall ist, wird allerdings eine recht langsam bewirkte Erwärmung zu einem Schutzmittel. Wenn man Kartoffeln, die in dieser Weise gefroren sind, in viel kaltes Wasser legt, welches dann ganz allmählich die Temperatur der wärmeren Luft annimmt, so erhält

[1]) Vergl. Centralblatt f. Agrik.-Chemie 1887, pag. 647.

man oft die Knollen am Leben, während sie in so gefrorenem Zustande sogleich in wärmere Luft gebracht, in der Regel getötet werden. Selbstverständlich wirken aber, um diese Art Frosttod zu vermeiden, auch alle vorgenannten natürlichen wie künstlichen Frostschutzmittel ebenfalls zweckentsprechend.

C. Störungen einzelner Lebensprozesse infolge der Überschreitung ihrer Temperaturgrenzen.

Störung der Lebensprozesse infolge der Überschreitung der Temperaturgrenzen.

Im vorhergehenden haben wir nur die an und für sich tödlichen Temperaturen kennen gelernt. Nun giebt es aber, wie die Pflanzenphysiologie lehrt, für die meisten Lebenserscheinungen eine untere und eine obere Temperaturgrenze, welche für die Pflanze nicht tödlich ist, wobei dieselbe aber die betreffende Lebensthätigkeit nicht mehr ausübt. Es treten mithin krankhafte Zustände ein, die so lange dauern, bis die Temperatur wieder in jene Grenzen zurückgekehrt ist. Zwischen den beiden Temperaturgrenzen giebt es ein Optimum, d. h. einen bestimmten Wärmegrad, welcher für den betreffenden Lebensprozeß am günstigsten ist; und je weiter die herrschende Temperatur von jenem Grade entfernt ist, je mehr sie sich einer der beiden Temperaturgrenzen nähert, in desto schwächerem Grade findet der Prozeß statt, so daß auch innerhalb der Grenzen die Temperaturverhältnisse einen schädlichen Einfluß ausüben können. Wir kennen gegenwärtig eine solche Beziehung zur Temperatur von folgenden Lebensprozessen.

Temperaturgrenzen der Keimung und des Wachstums.

1. Das Wachstum und die Keimung. Es ist ein allbekannter Erfahrungssatz, daß das Wachsen der Pflanzen bei geringen Wärmegraden sich verlangsamt oder ganz stockt, bei größerer Wärme dagegen rüstig fortschreitet, und daß in demselben Sinne auch die Geschwindigkeit, mit welcher die Samen aufkeimen, beeinflußt wird. Das letztere ist nach der ersteren Erfahrung nicht anders zu erwarten, da ja die Keimung der Samen im Grunde nichts anderes als ein Wachsen der Teile des Keimlings ist. Das Gesetzmäßige in dieser Abhängigkeit ist zuerst von Sachs[1]) festgestellt und dann von A. de Candolle[2]), Köppen[3]), de Vries[4]), Haberlandt[5]) und bezüglich der unteren Temperaturgrenze von Hellriegel[6]) bestätigt worden. Hiernach giebt

---

[1]) Experimentalphysiologie, pag. 54.

[2]) Biblioth. univers. de Genève 1865. T. XXIV, pag. 243.

[3]) Wärme und Pflanzenwachstum. Moskau 1870, pag. 39.

[4]) Matériaux pour la connaissance de l'influence de la temperature. Archiv Néerlandaises 1870. V.

[5]) Landwirtsch. Versuchsstationen XVII, pag. 104.

[6]) Beiträge zu den naturwissensch. Grundlagen des Ackerbaues. Braunschweig 1883, pag. 284.

es eine untere und eine obere Temperaturgrenze des Wachstums, d. h. es darf weder eine gewisse niedere noch eine gewisse hohe Temperatur überschritten sein, wenn noch Wachsen stattfinden soll. Es ist dies besonders am Keimungsprozeß ermittelt worden, indem man die Samen zum Keimen auslegte unter verschiedenen konstant bleibenden Temperaturen und dabei beobachtete, ob die Keimung erfolgt oder nicht. Man erhielt also dabei die Temperaturgrenzen der Keimung, die wir nachstehend für eine Anzahl von Pflanzen aus den Angaben der genannten Forscher entlehnen. Es tritt dabei die wichtige Thatsache hervor, daß diese Kardinalpunkte keineswegs bei gleichen Temperaturgraden liegen, sondern daß darin sich jede Pflanze eigentümlich verhält, wobei es nicht undeutlich ist, daß die aus wärmeren Ländern stammenden Pflanzen ein höheres Wärmebedürfnis für ihr Wachstum haben, als die bei uns einheimischen oder akklimatisierten.

	Untere Temperaturgrenze ° C.	Obere Temperaturgrenze ° C.
Sinapis alba	0,0	über 37,2
Lepidium sativum . . .	1,8	unter 37,2
Hordeum vulgare . . .	5,0	37,7
Triticum vulgare . . .	5,0	42,5
Zea mais	9,5	46,2
Phaseolus multiflorus . .	9,5	46,2
Cucurbita pepo	13,7	46,2
Cucumis sativus	18,5	über 44

Bezüglich der unteren Temperaturgrenzen haben die Beobachtungen auch noch für viele andere Pflanzen, wie Roggen, Hafer, Zuckerrübe, Hanf, Raps, Mohn, Lein, Rotklee, Erbse, Saubohne, ergeben, daß sie ungefähr zwischen 4 und 5° C. liegt. Doch wollen manche Beobachter auch bei noch niedrigeren Temperaturen Keimung gesehen haben. So sollen nach Uloth[1]) Samen von Gramineen und Cruciferen mitten im Eis oder in mit Eis umgebenen Kisten in Eiskellern nach längerer Zeit gekeimt sein. Kirchner[2]) hat bei ähnlichen Versuchen an Sinapis, Secale und Triticum noch zwischen 0 und + 1° C. Verlängerung durch Wachstum beobachtet. Kerner[3]) fand, daß Samen von Alpenpflanzen bei dauernd ungefähr + 2° C. zur Keimung kamen

[1]) Flora 1875, pag. 266.
[2]) Cohn's Beiträge zur Biologie III. 1883, pag. 335.
[3]) Berichte des naturw. Vereins zu Innsbruck, citiert in Bot. Zeitg. 1873, pag. 437.

und glaubt, daß sie am Rande der Schneefelder auch bei 0° keimen können. Die merkwürdigen Beobachtungen, welche Middendorff[1]) erzählt, daß unter 70° nördl. Br. unter dem Schnee hervorragende Weidenkätzchen bei einer Temperatur von — 16 bis — 25° in der Sonne sich zu entwickeln begannen, während 53 cm tiefer die Zweige gefroren waren, und daß Alpenrosen an den Zweigspitzen vollständig blühten in einer Temperatur, die nachts unter dem Gefrierpunkte, tags zwischen 0 und + 5° sich hielt, während der Stamm und die Wurzeln im Eise gefroren waren, sind auf die Erwärmung durch die Sonnenstrahlen zurückzuführen. Aber die Beobachtung, die Kerner (l. c.) und andere vor ihm gemacht haben, daß Alpenpflanzen unter dem Schnee zu wachsen begannen und ihre Blütenschäfte durch die eisige Decke emporschoben, so daß die Blüten an der Firnoberfläche hervorragten, läßt wohl kaum eine andere Deutung zu, als daß diese Prozesse bei 0° stattgefunden haben. Auch sah ich auf den Alpen den Firn durch die Alge des roten Schnees (Chlamidococcus nivalis) bis wenigstens 1 cm unter der Oberfläche gefärbt. Die Wärmestrahlen der Sonne und die durch die Atmung erzeugte Wärme können hier wohl keine Wirkung äußern, da sie sogleich durch das Schmelzen des Schnees verbraucht werden. In Übereinstimmung damit findet auch nach den Beobachtungen der schwedischen Polarexpedition 1872—73 bei Spitzbergen an der winterlichen Algenvegetation des Meeres bei dauernder Temperatur desselben unter 0° Wachstum des Thallus und Bildung von Fortpflanzungszellen statt[2]).

Ungenügende Dauer der Vegetationstemperatur.

Selbstverständlich wird aber die für das Wachsen notwendige Wärme auch während einer genügend langen Dauer gegeben sein müssen, um den Wachstumsprozeß einer jeden Pflanze in normaler Weise zur Vollendung zu bringen. Wir wissen, daß die Entwickelungsdauer den klimatischen Verhältnissen der Heimat jeder Pflanze angepaßt, lang bei Gewächsen der wärmeren Länder, sehr kurz bei denen der kalten Zone und der höheren Gebirgsregionen ist. Höhe und Dauer der Temperatur sind daher mit die wichtigsten Faktoren, welche die geographische Verbreitung, die Abhängigkeit der Pflanzen vom Klima bedingen. Sie sind die Ursache, daß jede Pflanzenart in einer bestimmten geographischen Breite gegen die Pole hin, sowie in einer je nach dem Breitengrad verschiedenen Höhe über dem Meere verschwindet. Werden daher Pflanzen südlicher oder gemäßigter Klimate in nördlicheren Breiten oder in rauheren Gebirgsgegenden kultiviert,

---

[1]) Sibirische Reise. I., 2. Tl.

[2]) Citiert in Bot. Zeitg. 1875, pag. 771.

so kann die geringere Wärmemenge und kürzere Dauer des Sommers nicht mehr genügend sein, um die Pflanze zur vollständigen Entwickelung, zum Blühen und zur Fruchtreife gelangen zu lassen, oder es ist solches nur noch in den günstigsten, nach Süden geneigten Lagen möglich. Die Nichterfüllung dieser Bedingungen hat daher für solche Pflanzen nachteilige Folgen in der angegebenen Beziehung. Die einzelnen Pflanzen verhalten sich bekanntlich hierin verschieden, indem jede ihre eigenen klimatischen Ansprüche hat. Diese für den Pflanzenbau, besonders in den Gebirgen und den nördlichen Gegenden unseres Erdteiles tief eingreifenden Verhältnisse können hier nicht näher erörtert werden, da alle spezielleren Betrachtungen hierüber mehr der Pflanzengeographie und Phänologie als der Pathologie angehören. Es sei nur noch darauf hingewiesen, daß auch in dieser Beziehung eine Akklimatisation (S. 200) von Pflanzen wärmerer Länder an ein kälteres Klima möglich ist, wenn es gelingt, Varietäten zu züchten, deren untere Temperaturgrenze des Wachsens möglichst niedrig liegt und deren Entwickelungsdauer möglichst kurz ist.

Beeinflussung der Wachstumsgeschwindigkeit.

Aber auch die verschiedenen Temperaturgrade, welche zwischen den beiden Grenzwerten liegen, beeinflussen, wenn sie konstant auf die Pflanze einwirken, das Wachstum und zwar erstens hinsichtlich seiner Geschwindigkeit. Eine Vorstellung davon geben nachstehende von Sachs herrührende Zahlen, welche die Wachstumsgeschwindigkeit in Millimetern ausdrücken, welche an Maiswurzeln in 24 Stunden bei verschiedenen konstanten Temperaturen gemessen worden sind.

Temperatur	Wurzellänge
17,1° C.	1,3 mm
26,2° C.	24,5 „
33,2° C.	39,0 „
34,0° C.	55,0 „
38,2° C.	25,2 „
42,5° C.	5,9 „

Es ist hieraus ersichtlich, daß auch Temperaturen, welche sich der oberen oder unteren Temperaturgrenze nähern, dem Wachstumsprozeß schon sehr ungünstig sein können. Man hat nun denjenigen Punkt, welcher das Wachsen am meisten beschleunigt und bei welchem also auch die Samen am schnellsten keimen, das sogenannte Optimum der Wachstumstemperatur, für viele Pflanzen festzustellen gesucht und auch dieses je nach Pflanzenarten bei verschiedenen Temperaturen gefunden, wie nachfolgende Zahlen zeigen.

Sinapis alba	27,4
Lepidium sativum . . .	27,4
Hordeum vulgare . . .	28,7
Triticum vulgare . . .	28,7
Zeä mais	33,7
Phaseolus multiflorus .	33,7
Cucurbita pepo . . .	33,7
Cucumis sativus . . .	33

Beeinflussung der Wachstumsgröße.

Indem man nun die das Wachsen am meisten beschleunigende Temperatur das Optimum nannte, ist man vielfach in den Irrtum verfallen, diesen Temperaturgrad als den für den Wachstumsprozeß der Pflanze überhaupt günstigsten zu halten. Das ist aber, wie ich schon in der ersten Auflage dieses Buches (S. 209) und noch bestimmter jüngst[1]) hervorgehoben habe, keineswegs der Fall. Das durch Temperatur am meisten beschleunigte Wachstum giebt der Pflanze krankhafte Gestalten, weil auch die Wachstumsgröße der Pflanzenteile durch die Temperatur beeinflußt wird und zwar in ganz analoger Weise wie durch Licht und Dunkelheit (S. 162), indem durch Temperaturen nahe dem Optimum die Gestaltung der Pflanzenteile in ähnlicher Weise krankhaft ausfällt wie bei Dunkelheit, während bei niedrigeren Temperaturen, wo die Pflanze allerdings langsamer wächst, normale gesunde Pflanzengestalten sich ergeben. Das krankhafte Wachsen in der Dunkelheit, welches man Etiolement nennt, tritt also in ähnlicher Form auch bei zu hoher Temperatur im Lichte auf; man könnte also passend auch von einem Thermoetiolement reden und jenes als Photoetiolement bezeichnen. Bei den Versuchen von Bialoblocki[2]) hat sich gezeigt, daß Roggen, Gerste und Weizen bei konstanter Bodentemperatur von + 10° C. zwar langsam wachsen, aber normal starke Wurzeln, mäßig lange, aber dicke, kräftige Halme und breite Blätter bekommen, daß aber bei Temperaturen in der Nähe des Optimums (+ 30° C.) die Wurzeln immer feiner, die Halme sehr dünn und schwächlich, die Blätter sehr lang und schmal werden, die ganze Pflanze also ein krankhaftes Aussehen annimmt.

Beeinflussung der Kohlensäure-Assimilation.

2. Die Kohlensäure-Assimilation und die Gesamtproduktion. Die Energie, mit welcher die grüne Pflanze die Kohlensäure assimiliert, hängt auch von der Temperatur ab. Nach den Untersuchungen, welche Heinrich[3]) mit der Wasserpflanze Hottonia, der sich in dieser Beziehung

---

[1]) Frank, Lehrbuch der Botanik. I. Leipzig 1892, pag. 388.

[2]) Ueber den Einfluß der Bodenwärme auf die Entwickelung einiger Kulturpflanzen. Dissertation, Leipzig 1872.

[3]) Landwirtsch. Versuchsstation 1871, pag. 136.

wohl viele andere Pflanzen gleich verhalten dürften, angestellt hat, liegt das Optimum bei ungefähr 31° C.; denn bei dieser Temperatur wurden 547—580 Sauerstoffblasen ausgeschieden in der nämlichen Zeit, wo bei 50° C. 110—200 Blasen gezählt wurden; bei 56° C. hörte die Abscheidung auf. In der gleichen Zeit wurden bei 10,6—11,2° C. nur 145—160 Gasblasen abgeschieden. Aber selbst bei sehr niedrigen, den Gefrierpunkt kaum überschreitenden Graden findet noch etwas Kohlensäurezersetzung statt, wie schon von älteren Beobachtern erkannt und von Kreusler[1]) wiederum bei Rubus bestätigt wurde. Auch dieser Beobachter fand bei nahezu 50° den Prozeß noch nicht erloschen.

Beeinflussung der Gesamtproduktion

Wenn man berücksichtigt, daß der Wachstumsprozeß und die Kohlensäure-Assimilation, sowie noch andere im Nachstehenden erwähnte Lebensprozesse von der Temperatur abhängig sind, so ist es nicht anders zu erwarten, als daß auch die Gesamtproduktion einer Pflanze durch die Temperatur beeinflußt wird. Aber man wird begreifen, daß dies der Gesamteffekt aller der verschiedenen Beeinflussungen der einzelnen Lebensthätigkeiten durch die betreffende Temperatur ist und also eine sehr komplizierte Resultante darstellt, der wir durchaus nicht den Wert eines Maßstabes für irgend eine bestimmte Lebensthätigkeit zuerkennen dürfen. So zeigen uns auch die folgenden Zahlen Hellriegel's[2]) nur, daß verschiedene Temperaturen schließlich auch in der Gesamtproduktion einer Pflanze zum Ausdrucke kommen.

Konstante Bodentemperatur:	8°	10°	15°	20°	25°	30°	40°
Roggen:							
Frischgewicht	191,5	176,3	269,4	456,6	376	408	240,1
Trockensubstanz	23,9	22,8	32,4	49,5	42,4	47,0	31,2
Weizen:							
Frischgewicht	98,6	130,8	241,0	260,5	342,0	402,2	296,0
Trockensubstanz	15,8	20,8	29,5	30,8	43,9	46,9	40,3
Gerste:							
Frischgewicht	151,9	156,0	383,4	408,5	435,2	365,0	230,5
Trockensubstanz	17,1	18,0	34,4	36,7	42,0	35,0	26,3

Störung der Wurzelthätigkeit; Schütte der Kiefer.

3. Die Wurzelthätigkeit, d. h. die Wasseraufnahme durch die Wurzeln ist ebenfalls von der Temperatur abhängig, und wegen dieser Abhängigkeit können für manche Pflanzen krankhafte Zustände ent-

[1]) Landwirtsch. Jahrbücher 1887, pag. 711.
[2]) Grundlagen des Ackerbaues 1883, pag. 332.

stehen. Nach den Beobachtungen von Sachs[1]) nehmen Tabak- und Kürbispflanzen mit ihren Wurzeln aus einem feuchten Boden, wenn derselbe nur + 3 bis 5° C. warm ist, schon nicht mehr so viel Wasser auf, um einen schwachen Verdunstungsverlust zu ersetzen und werden welk. An Topfpflanzen, besonders an wärmebedürftigeren, die im Winter in kalten Zimmern stehen, sieht man dies häufig. Begießen hilft hier nichts, sondern kann sogar schaden, wenn die Erde schon sehr feucht war; aber durch geeignete Erwärmung der Erde und Wurzeln, wodurch letztere wieder zur Thätigkeit angeregt werden, können die Pflanzen sich wieder erholen. Bei Gewächsen, die unserer kälteren gemäßigten Zone angepaßt sind, scheint die untere Temperaturgrenze der Wurzelthätigkeit tiefer zu liegen; denn Brassica Napus und oleracea nehmen nach Sachs auch aus einem nahezu 0° C. kalten Boden noch genügend Wasser auf, um einen mäßigen Verdunstungsverlust zu ersetzen. Im freien Lande dürften die krautartigen Pflanzen schwerlich von dem auf diesem Grunde beruhenden Mißverhältnis zwischen Wasseraufsaugung und Transpiration betroffen werden, da zur Zeit, wo sie vegetieren, meist der Frost aus dem Boden gewichen ist oder ein Spätfrost nur die oberste Bodenschicht ergreift. Die tiefwurzeligen Laubbäume sind in dieser Beziehung durch ihre späte Belaubung und durch die Wärme des Bodens in tieferen Schichten geschützt. Anders ist das Verhältnis bei den immergrünen Laub- und Nadelbäumen. Hier tritt wirklich ein Vertrocknen der Blätter und Nadeln ein, wenn, während der Boden noch gefroren ist, direkte Sonne oder warme Südwinde in den Blättern die Verdunstung anregen. Nach R. Hartig[2]) soll dies sogar an älteren Fichten und Tannen vorkommen, die an südlichen Bestandesrändern und Böschungen stehen, und in den Alpen in Lagen, welche dem warmen Südwinde am meisten exponiert sind. Besonders leicht kann dieser Fall an jungen Kiefern eintreten, deren mehr seichte Wurzeln im Bereiche des Frostes liegen; die Erscheinung ist hier unter dem Namen Schütte bekannt, welche vorzugsweise an jungen Kiefern, besonders zwei- bis fünfjährigen Sämlingen, im zeitigen Frühjahre auftritt, wobei die Nadeln schnell braun oder rotbraun und dürr werden und abfallen; die Pflanzen gehen infolgedessen ein oder erholen sich erst nach längerer Zeit wieder. Es ist sicher, daß Schütte verschiedene Ursachen, insbesondere auch pilzparasitäre, von denen später die Rede sein wird, haben kann. Aber nach

---

[1]) Bot. Zeitg. 1860, pag. 124.

[2]) Untersuchungen aus dem forstbot. Institut München. I., pag. 133.

den vieljährigen Beobachtungen Ebermayer's[1]) ist kaum zu bezweifeln, daß die Schütte in den meisten Fällen die Folge einer durch die warme Frühjahrssonne in den Nadeln angeregten Verdunstung ist, während gleichzeitig die Wurzeln in dem noch kalten Boden noch keine wasseraufsaugende Thätigkeit ausüben, so daß die Pflanzen, die noch nicht im Besitze eines sehr entwickelten Holzkörpers sind, also selbst wenig Wasser enthalten, alsbald den Nadeln keine genügende Feuchtigkeit mehr zuführen können. Denn die Krankheit tritt nach jenen Beobachtungen besonders in trockenen Frühjahren ein, in denen die Tage warm, die Nächte kalt sind; häufiger in der Ebene als in den Gebirgen, und besonders stark an den Süd- und Westseiten der Berge, fast nie an den Nordabhängen; ferner in freien Lagen besonders stark, dagegen nicht dort, wo benachbarter Waldbestand ꝛc. gegen die Mittagssonne schützt; ebenso entgehen die Pflanzen der Schütte, wenn sie mit Reisig u. dergl. bedeckt sind, selbst schon, wenn sie unter hohen Gräsern oder Sträuchern wachsen, wodurch die Insolation abgehalten und auch die Verdunstung vermindert wird. In der That fand Ebermayer die Temperatur des Bodens zur Zeit, wo die Schütte sich zeigt, bis zu 1,3 m Tiefe in der Regel noch nicht + 4° R., während die Lufttemperatur im Schatten nicht selten auf 20° steigt. Daher sind auch warme Regen, lange liegenbleibender Schnee, Streubedeckung und alles, was die Abkühlung des Bodens verhindert oder vermindert, desgleichen Lockerung eines zu festen und Entwässerung eines zu nassen Bodens, überhaupt alles, was die Durchwärmung des Bodens erleichtert, Schutzmittel gegen diese Beschädigung. Ganz ähnliche Erscheinungen zeigten sich nach Breitenlohner[2]) auch nach dem abnormen Winter 1881/82 an den immergrünen Hochgebirgssträuchern in den Alpen, wie Pinus pumilio, Juniperus nana, Rhododendron, Calluna vulgaris, Vaccinium und Empetrum, deren Belaubung an den sonnigen Berglehnen fuchsrot wurde und abstarb, aber dort unversehrt blieb, wo irgendwie Deckung gegen die Sonne gegeben war. Der genannte Beobachter kommt ebenfalls zu dem Schlusse, daß unter Berücksichtigung der mangelnden Feuchtigkeit jenes Winters und der relativen Trockenheit der Luft in höheren Gebirgsgegenden bei dieser Frostwirkung die Trockenheit die Ursache des Absterbens gewesen ist.

---

[1]) Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden (Resultate der forstl. Versuchsstat. in Bayern I. Aschaffenb. 1873).

[2]) Der Winterbrand der Holzgewächse in den Alpen. Forschungen auf dem Geb. d. Agrikulturphysik 1885, pag. 137.

G. Holzner[1]) sucht dagegen die Ursache der Schütte der Kiefern allgemein in einer direkten Frostwirkung auf die Nadeln, indem er hervorhebt, daß alle Umstände, welche nach Ebermayer die Schütte verhüten, zugleich vor Wärmeausstrahlung, vor Erfrieren der Pflanzen schützen. Diese Bemerkungen können jedoch die Ebermayer'sche Erklärung nicht entkräften. Daß Kiefern oder einzelne Äste derselben erfrieren können und die Nadeln dadurch absterben, rot werden und abfallen, ist ja nicht bestritten und wenn man das auch Schütte nennen will, so ist selbstverständlich Frostbeschädigung mit zu den Ursachen der Schütte zu rechnen. Eine ganz andere Erklärung der Schütte sucht Sorauer[2]) zu geben. Das Abwerfen der Nadeln sei nicht Folge des Vertrocknens durch Verdunstung; vielmehr werde wegen gefrorenen Bodens und wegen starker nächtlicher Abkühlung „die Ernährung der geweckten Basalzone des Nadelbüschels gestört," „das dort mobilisierte Material fließe nicht in die erst später zur Thätigkeit erweckbare Nadel ab, die Nadel rötet sich und sterbe ab infolge der Störung in der sie tragenden Achse, welche sich zur vorzeitigen Bildung einer Korkschicht anschickt und damit die Leitung in die Nadel aufhebt." Ich muß gestehen, daß diese lange Kette supponierter Prozesse, von denen kein einziger bis jetzt erwiesen ist, mir unverständlich ist. Übrigens finden sich ja in der Kiefernadel während des Winters reichlich Reservestoffe, wie eine einfache Untersuchung lehrt. Gewiß hat Sorauer recht, daß bei manchen anderen Pflanzen infolge schnellen Wechsels der Vegetationsbedingungen und wohl auch der Temperatur Blattabfall zur Unzeit eintreten kann. Aber um alle diese mannigfaltigen Erscheinungen ursächlich aufzuklären, bedurfte es sorgfältiger und vorsichtig-kritischer Untersuchungen.

Störung der Chlorophyllbildung.

4. Zur Ergrünung der Chlorophyllkörner ist nicht bloß das Licht, sondern auch eine gewisse Temperatur erforderlich. Die untere Temperaturgrenze liegt nach Sachs[3]) für Phaseolus multiflorus, Zea Mais und Brassica Napus oberhalb + 6° C., bei Pinus Pinea zwischen + 7 und 11° C., die obere für die genannten Pflanzen etwas oberhalb + 33° C., für Allium cepa oberhalb + 36° C. Wenn daher die Pflanzen in Temperaturen sich befinden, welche jenseits dieser Grenzen liegen, wobei sie sich ja noch zu entwickeln vermögen, so bleiben die neugebildeten Blätter gelb, wie beim Etiolieren im Dunkeln. Das Unterbleiben der Chlorophyllbildung in zu stark erwärmten Glas-

[1]) Beobachtungen über die Schütte der Kiefer ꝛc. Freising 1877. Vergl. auch Just, bot. Jahresber. für 1877, pag. 856.

[2]) Pflanzenkrankheiten. 2. Aufl. I., pag. 336.

[3]) Experimentalphysiologie, pag. 55.

häusern wurde schon von Decandolle[1]) beobachtet und „falsches Etiolement" genannt. In kühlen Frühjahren sind ebenfalls derartige Erscheinungen an Kräutern wie an Holzpflanzen hin und wieder zu beobachten. Einen Fall, wo ganze Rapsfelder infolge niederer Temperatur im März und April gelb oder gelb- und grünscheckig aussahen, beschreibt Ritzema Bos[1]). Auch in den Alpen sah ich unmittelbar am Rande des Firns Soldanella, die vor kurzem erst vom Schnee frei geworden war und soeben ihre Blätter aus der Knospe entfaltet hatte, etioliert. Dagegen muß wohl der winterlichen Algenvegetation der nordischen Meere und der Alge des roten Schnees, von denen oben die Rede war, auch die Fähigkeit, bei 0° Chlorophyll zu bilden, zuerkannt werden.

Das Unterbleiben der Chlorophyllbildung infolge niederer Temperatur läßt sich am besten an unseren zeitigen Frühjahrs-Monckotyledonen beobachten. Die folgenden Angaben beziehen sich auf Colchicum speciosum, Ornithogalum pyramidale, Tulipa turcica, Agraphis patula und campanulata, Galanthus nivalis und plicatus, Leucojum vernum, Allium ursinum, Arum maculatum, an denen ich die Erscheinung untersucht habe. Gewöhnlich sind die jungen aus der Erde kommenden Blätter nahe der Spitze in einer mehr oder weniger großen Strecke gelb oder weiß gefärbt und oft an diesen Stellen noch von einigen grünen Streifen mehr oder weniger durchzogen: der später aus der Erde sich hervorschiebende übrige Teil des Blattes kommt grün zum Vorschein, wenn inzwischen die Temperatur wieder gestiegen ist. Gewiß ist, daß oft mit steigender Temperatur das Gelb in Grün sich verwandelt, indem mit Eintritt ihrer Bedingung die Chlorophyllbildung nachgeholt wird, und das ist auch die bisherige gewöhnliche Annahme in der Physiologie. Sehr oft aber bleibt, wie ich bereits in der 1. Auflage dieses Buches S. 213 erwähnt habe, auch trotz der Erhöhung der Temperatur die Gelbfärbung konstant und erhält sich bis tief in den Sommer hinein, es erfolgt überhaupt keine Ergrünung der gelben und weißen Stellen, während der übrige Teil des Blattes normal grün und lebendig ist. Es tritt also eine chronische partielle Gelbsucht (icterus) und Bleichsucht (chlorosis) ein, im Aussehen genau gleich den gewöhnlich totalen gleichnamigen Krankheiten, welche die Folgen des Eisenmangels in der Nahrung sind. Gleich nach der Entstehung in den Kältetagen findet man in den gelben (icterischen) Stellen die Chlorophyllkörner der Mesophyllzellen von gelbgrüner

[1]) Physiologie vègétale III., pag. 1114.

[2]) Zeitschrift f. Pflanzenkrankheiten. II. Band 1892, pag. 136.

Farbe, aber im übrigen, auch was ihre Verteilung in der Zelle anlangt, unverändert. Wo diese Stellen in die farblosen (chlorotischen) übergehen, findet man alles ebenso, aber die Chlorophyllkörner farblos, übrigens ein wenig kleiner und minder zahlreich. Die übrigen Zellen der farblosen Partien stellen das Extrem dar: das Protoplasma enthält nur feine Körnchen, keine Chlorophyllkörner; es bildet einen Saftraum, der oft von Plasmasträngen durchströmt ist und hat einen wandständigen Zellkern. Diese gleichzeitig vorhandenen verschiedenen Zustände können wohl nur so gedeutet werden, daß die Zellen in sehr verschiedenen Entwickelungsstadien von der die Chlorophyllbildung hemmenden kühlen Temperatur überrascht wurden. Daß auch später bei günstiger Temperatur Ergrünung der bleichen Stellen nicht eintritt, hat vielleicht seinen Grund darin, daß diese Zellen nur in demjenigen jugendlichen Ausbildungszustande Chlorophyllkörner bilden können, in welchem dies normal geschieht, aber nicht mehr dann, wenn sie durch die Gesamtentwickelung der Gewebe in den Dauerzustand übergegangen sind. Ein Widerspruch hiermit ist es nicht, daß durch Dunkelheit etiolierte Pflanzenteile am Lichte fast zu jeder späteren Zeit nachträglich ergrünen, denn durch Dunkelheit wird eben gerade die Zelle auf jenen frühzeitigen Entwickelungsstadien zurückgehalten, was bei niederer Temperatur gerade gar nicht der Fall ist. Während des Sommers verlieren die chlorotischen Zellen immer mehr ihr Protoplasma; an die Stelle desselben tritt wässerige Flüssigkeit, endlich Luft; die Zellen kollabieren etwas, sterben langsam ab, wobei die bleichen Stellen sich oft schwach bräunen, auch die benachbarten Zellen teilweise mit in die Desorganisation hineingezogen werden und die Chlorophyllkörner derselben sich auflösen.

Süßwerden der Kartoffeln.

5. Das Süßwerden der Kartoffeln in der Kälte. Diese bekannte Erscheinung ist lange Zeit unerklärt gewesen. Göppert[1]) hielt sie irrtümlich für einen nur in schon getöteten Zellen eintretenden chemischen Prozeß, denn süß gewordene Kartoffeln sind keineswegs immer tot. Einhof[2]) stellte fest, daß Kartoffeln nur dann süß werden, wenn die Temperatur dem Gefrierpunkt nahe oder nur wenige Grade unter demselben ist, und der Zuckergehalt soll sich vermehren, wenn sie abwechselnd einer Temperatur von + 8 bis 12° und — 1 bis 2° ausgesetzt werden, während Kartoffeln, die bei starker Kälte steinhart gefrieren, keinen Zucker bilden, wodurch also erwiesen ist, daß der Zuckererzeugungsprozeß ein Lebensvorgang ist. Aber erst neuerdings

[1]) Wärmeentwickelung, pag. 38.

[2]) Gehlen's neues allgem. Journ. d. Chemie, Berlin 1805, pag. 473 ff.

ist der Vorgang durch Müller-Turgau[1]) in befriedigender Weise aufgeklärt worden. Derselbe wies nach, daß in der Kartoffelknolle beständig, auch während des Winters, eine Umwandlung von Stärke in Zucker stattfindet, daß dieser Zucker aber durch die gleichzeitig stattfindende Atmung immer wieder verbraucht wird; bei niederer Temperatur dauert nun diese Zuckerbildung fort, während die Atmung in der Kälte immer geringer wird, so daß also Zucker wegen des geringeren Verbrauches angehäuft wird. Darum werden süß gewordene Kartoffeln in Temperaturen über 10° Wärme, wo der Atmungsprozeß lebhafter wird, wieder entsüßt. Die ebenfalls von Müller-Thurgau gemachte Beobachtung, daß die durch Kälte süß gewordenen Kartoffeln, in einen warmen Raum gebracht, sich viel rascher entwickeln, als nicht süße, erklärt sich daher wohl aus der größeren Menge des auf einmal disponiblen Zuckers.

Frostgeschmack der Weinbeeren

6. Der Frostgeschmack der Weinbeeren tritt ein, wenn vor der Traubenlese stärkere Kälte geherrscht hat; er teilt sich auch dem daraus bereiteten Most mit. Traubensaft soll durch Gefrieren diese Veränderung nicht erleiden. Es ist daher nicht unwahrscheinlich, daß durch Diffussion aus den Beerenstielen irgend welche Stoffe, welche jene Veränderung bewirken, in die Beeren gelangen nach Tötung der Zellen durch den Frost[2]).

3. Kapitel.

Die Niederschläge.

Beschädigungen durch Regen.

1. Der Regen kann erstens eine mechanische Zerstörung an zarteren Pflanzenteilen hervorbringen. Durch heftige Platzregen werden Blüten und kleinere Blätter wirklich abgeschlagen. Zweitens schadet der Regen aber auch, wenn er zu lange anhält. Man bemerkt dann nicht selten ein Aufspringen voluminöser Pflanzenteile, bei denen das eindringende Regenwasser eine bis zum Aufplatzen sich steigernde Gewebespannung bewirkt, wobei jedoch das Vorhandensein kleiner Wundstellen, die dem Wasser Eingang gestatten, eine Bedingung ist, weshalb wir die Erscheinung schon bei den Wunden (S. 113) besprochen haben. Lange anhaltendes Regenwetter während der Blütezeit kann die Befruchtung der Blüten vereiteln, nicht bloß, weil es die zur Bestäubung der Blüten notwendigen Insekten vom Blütenbesuche abhält, sondern auch, weil das Regenwasser, wenn es in die Blüte eindringt und die Antheren benetzt, das Aufspringen der letzteren und das Austreten des

[1]) Landwirtschaftliche Jahrbücher 1883.

[2]) Vergl. Dahlen, Annalen der Önologie, VI. Bd., 1. Heft.

Pollens aus denselben mehr oder weniger verhindert, denn das Aufgehen der Antherenwand kommt nur durch das Trockenwerden derselben zustande. Auch der Pollen selbst kann durch längere Benetzung verderben, indem die Pollenkörner infolge der dabei eintretenden osmotischen Vorgänge platzen können.

Beschädigungen durch Hagel.

2. Der Hagel. Die gröberen Hagelkörner oder Schloßen bringen bedeutende Beschädigungen an der Pflanzenwelt hervor. Krautartige Pflanzen können dadurch vollständig zerschlagen und getötet werden, so daß also der stärkste Grad der Hagelschäden in einer völligen Vernichtung der Kultur besteht. Bei schwächeren Graden sieht man die verschiedenartigsten Verwundungen. Einigermaßen starke Krautstengel werden von dem Hagelstück an der getroffenen Stelle oft nur entrindet bis auf das Holz; sie zeigen lange, weiße Flecken, welche auf den Rändern wieder verheilen können, wobei Rötung des Wundrandes eintritt, wenn dies überhaupt an den Wunden der betreffenden Pflanzenart der Fall zu sein pflegt, wie z. B. bei **Rumex**. Bei dünneren Stengeln, also besonders bei den Halmen, tritt aber meistens eine wirkliche Knickung ein, was bei den Halmen des Getreides allbekannt ist; selbst die dicken Halme des Schilfrohres kann der Hagel knicken. Schwacher Hagel knickt auch die Getreidehalme nicht, sondern bringt nur Schlagstellen, die später weiß erscheinen, hervor. Dieselben rühren nach Sorauer[1]) daher, daß daselbst das in Streifen liegende grüne Rindenparenchym durch Quetschung getötet ist, das Chlorophyll verloren hat und derart zusammengetrocknet ist, daß Luft an seine Stelle getreten ist, welche die weiße Farbe bedingt. An den wirklichen Knickstellen der Getreidehalme sind aber gewöhnlich alle Gewebe getötet; dann wird das darüber befindliche Stengelstück nicht weiter ernährt und stirbt ab; bei Getreidehalmen ist dies der gewöhnlichste Fall. Bei Kräuterstengeln bleibt oft der organische Zusammenhang an der Knickstelle erhalten, das umgekehrte Stück lebt dann fort, indem es sich durch negativen Geotropismus wieder mehr oder weniger aufwärts krümmt. Pflanzen, welche sich von den unteren Teilen des Stengels aus durch neue Triebe bestocken können, wie besonders das Getreide, regenerieren sich gewöhnlich durch solche Bestockungstriebe, wenn die alten Halme vom Hagel zerschlagen sind; das Feld trägt dann nach einiger Zeit wieder neue, nur weniger dicht stehende Halme. Die Blätter werden durch den Hagel entweder ganz abgerissen oder so durchlöchert und zerfetzt, daß sie verloren sind, wobei die Mittelrippe am meisten Widerstand leistet. Die Blätter des Getreides werden ent-

[1]) Pflanzenkrankheiten. 2. Aufl. I., pag. 502.

weder der Länge nach zerrissen oder am Grunde durchschnitten, so daß sie herunterhängen; die Blattscheiden werden oft herabgeschlagen und dadurch junge, noch eingeschlossen gewesene Ähren herausgebrochen. Von den älteren Ähren werden Körner abgeschlagen, so daß manchmal die kahle Spindel stehen bleibt. Am Raps sind die Schoten voller Schlagflecken, die die Ausbildung der Frucht hindern. An den dickeren Stengeln der Sukkulenten (Cacteen, Agaven, Aloën ꝛc.) bringen die Hagelkörner eine ihrer Größe entsprechende Wunde oder Quetschung hervor, die Jahre lang als mißfarbige Stelle sichtbar bleibt. Wenn niedergehagelte Stengel später weiter wachsen oder neue Triebe bilden, so kommen, wie nach Verwundungen überhaupt an den neu entwickelten Teilen mitunter Bildungsabweichungen vor, z. B. Chloranthien, wovon Hallier[1]) ein Beispiel an Cicuta virosa anführt. Auch an den Holzpflanzen bewirkt der Hagel allerlei Verstümmelungen; unter den Bäumen ist dann der Boden mit Blättern Früchten und Zweigen bedeckt; vom Weinstock und anderen Sträuchern werden Blätter, Knospen, junge Triebe und Blüten abgeschlagen. An allen Holzpflanzen bringt der Hagel auf den Zweigen und Ästen Quetschwunden hervor, indem an jeder von einem Hagelstück getroffenen Stelle Rinde und Cambium abgeschunden oder durch Zerquetschung getötet werden. Solche Wunden heilen schwer durch Überwallung, indem häufiger die getöteten Gewebepartien Ausgangspunkte tiefer sich erstreckender Fäulnis oder Krebsbildungen werden; Gummi- oder Harzfluß zeigen sich oft in der Nähe und solche Wunden können später zu einem fortschreitenden Siechtum der Zweige und Äste Veranlassung geben, zumal da sich daselbst auch leicht verschiedene rindenbewohnende parasitische Pilze ansiedeln. Bei starken Hagelverletzungen der Baumzweige ist je nach Umständen ein Zurückschneiden auf das ältere Holz oder ein Bedecken der Wunden mit den oben bei der Wundenbehandlung erwähnten Mitteln (S. 152) angezeigt. Endlich sehen wir bei den Bäumen auch reifende Früchte, zumal Obst, durch Hagelverwundungen schadhafte Stellen bekommen. Auch der Samenbruch der Weinbeeren kann vom Hagel veranlaßt werden, indem das Fleisch der jungen Beere an der Stelle, wo es durch den Schlag eines Hagelkornes getötet ist, sich nicht ausbildet, so daß die Beere relativ kleiner bleibt und die Samen ein Stück aus der Schale hervorbrechen. Zwar sah Hoffmann[2]) den Samenbruch durch Sonnenbrand, wenn durch eine Linse oder durch Wassertropfen die Sonnenstrahlen auf die Beere

---

[1]) Phytopathologie, pag. 51.
[2]) Bot. Zeitg. 1872, Nr. 8.

geleitet werden (s. Wirkungen hoher Temperatur, pag. 176), sowie nach Verwundungen durch Insekten eintreten, aber Mohr[1]) hat versichert, daß die am Rhein und an der Mosel allgemein bekannte Erscheinung vorzugsweise Folge des Hagelschlags, daher auch in manchen Jahren gar nicht zu beobachten sei.

Schneedruck, Eisanhang, Lawinen.

3. Schneedruck, Eisanhang, Lawinen. Von einem schädlichen Einfluß des Schnees auf die Pflanzen kann nur da geredet werden, wo derselbe durch seine Masse mechanisch zerstörend wirkt. Hierher gehört der Schneebruch, der an den Bäumen in den Forsten durch den Schnee- und Eisanhang angerichtet wird. Am meisten leiden darunter diejenigen Bäume, bei denen die Form der Krone die Auflagerung großer Schneemassen gestattet, also die immergrünen Nadelbäume, die auch im Winter ihre Belaubung tragen, und unter diesen wiederum diejenigen, welche dachförmige Äste haben, wie besonders die Weißtanne und die Fichte. Auf den Ästen dieser Bäume können sich so bedeutende Massen von Schnee und Eis anhäufen, daß unter dieser Last dem Baume die Äste brechen oder er selbst im Gipfel oder tiefer am Stamme gebrochen, oder auch der ganze Baum umgeworfen wird; in manchen Jahren werden auf diese Weise arge Verheerungen in den Wäldern angerichtet, besonders in den Gebirgsgegenden, weil dort die Schneefälle häufiger sind und der einmal gefallene Schnee selten gleich wieder wegtaut, daher sich anhäuft. An den Abhängen werden die Bäume durch den Schneedruck am leichtesten geworfen. Schneebruch in den Ästen und Stämmen hängt natürlich auch mit dem Grade der Sprödigkeit des Holzes zusammen. Auch Obstbäume haben durch Schneedruck zu leiden, besonders der Apfelbaum mit seinen flachen, ausgebreiteten Ästen, wo bisweilen die Kronen förmlich auseinander gespalten werden. In solchem Falle muß man durch geeignetes Zusammenklammern oder Unterstützen der eingespaltenen Äste den Baum zu erhalten suchen.

Eis- oder Duftanhang an den Bäumen bildet sich, wenn im Winter die Pflanzen unter 0° abgekühlt sind und ein warmer Äquatorialstrom in den langsam weichenden Polarstrom eindringt. In mäßigem Grade ist diese Erscheinung unter dem Namen Rauhreif bei uns bekannt und fast alljährlich zu beobachten. Selten nimmt sie einen für die Bäume bedrohlichen Grad an, wie in dem von Breitenlohner[2]) beschriebenen, im Januar 1879 im Wiener Walde aufgetretenen Falle. Der Eisanhang erhielt sich hier 9 Tage und vermehrte sich so, daß die dünnsten Zweige bis zur Dicke eines Schiffstaues

---

[1]) Bot. Zeitg. 1872, pag. 130.

[2]) Forschungen auf d. Geb. d. Agrikulturphysik, 1879, pag. 497.

heranwuchsen. Aus den Tannen wurden wirkliche Eispyramiden, indem die Eisanhänge der oberen Äste bis an die unteren Äste reichten und an diese angefroren waren. Durch die Belastung wurden viele Baumstämme gebrochen. In den tieferen Lagen bestand der Anhang aus wirklichem durchsichtigen Glatteis, auf den Höhen mehr aus einem Gemenge von Eis und Duft. In derselben Weise schwächte sich der Eisanhang von dem Waldrande aus nach dem Innern zu allmählich zu bloßem Duftanhang ab.

In den Hochgebirgen richten die Lawinen Verwüstungen an der Vegetation an. Das gewöhnliche Bild, welches dieselben hinterlassen, wenn sie auf Wald treffen, ist das der radikalsten Verwüstung: der ganze im Bereich der Lawine befindliche Strich des Waldes liegt wie niedergemäht, und aus dem Choas der wirr durch einander gestürzten Stämme ragen nur etwa noch einzelne in schiefer Richtung auf, welche nicht gebrochen waren und am Leben sich erhalten haben. Eigentümliche Abnormitäten bilden sich an Holzpflanzen infolge stetig wiederholter Lawinenstürze aus, wie dies in manchen engen Alpenthälern vorkommt, wo Lawinen immer an denselben Stellen niedergehen und zu ständigen Erscheinungen werden. So sieht man z. B. im Eisthal, einem engen Seitenthale unmittelbar am Fuße des Watzmann in den bayrischen Alpen in der Nähe des hinteren Thalschlusses, der von steilen, fast kahlen Wänden gebildet wird und mit Schnee, meist Lawinenresten, erfüllt ist, einzelne Laubbäume noch bis an den Firn herangehen; dieselben haben den fortwährenden Lawinen getrotzt; aber wie sie das konnten, das ist in ihrem Aussehen ausgeprägt: vorwiegend sind es jüngere Bäume, deren biegsame Stämme von den Schneemassen nicht gebrochen sondern gebogen wurden, und alle stehen schief, sämtlich mit nach vorn, thalabwärts, geneigten Stämmen und oft im Gipfel gebrochen, oder nur an der thalabwärts gekehrten Seite beästet, weil alle der Lawine entgegenstehenden Äste gebrochen wurden. Zwischen denselben findet man noch eine Menge Krüppelformen von Buchen u. s. w., welche, durch den Schneebruch fortwährend verstümmelt, zu niederen, dichtbuschigen Sträuchern geworden sind, welche etwa an die durch künstlichen Schnitt oder durch Verbeißen des Wildes entstehenden Strauchformen erinnern. Überdies sind diese Gehölze bedeckt mit Wunden, die mehr oder weniger durch Überwallung geheilt sind; selbst am Laub zeigen sich Verwundungen durch späte Schneestürze.

---

4. Kapitel.
Der Sturm.

Beschädigungen der Blätter durch den Sturm.

Beschädigungen der Blätter. Durch sehr heftigen Wind werden an den Blättern, besonders an denjenigen der Bäume, Beschädigungen hervorgebracht, nicht bloß insofern als ganze Blätter oder beblätterte Zweiglein abgebrochen werden, sondern auch an den stehenbleibenden Blättern, die dann im ganzen lebend bleiben, aber einzelne beschädigte Stellen zeigen. Die Verwundungen, wobei Blätter zwischen den Seitenrippen eine Reihe von Löchern zeigen, oder fiederförmig eingerissen sind, wurden von Caspary[1], der dies bei Roßkastanien, und von Magnus[2], der es an Rotbuchen bemerkte, als Folgen der Reibung der noch gefalteten jungen Blätter bei Sturm betrachtet. Wir haben jedoch diese Erscheinungen oben mit A. Braun als Frostwirkungen hingestellt. Caspary will das freilich beobachtet haben nach Sturm, wobei kein Frost herrschte. Allerdings bringt, wie ich Anfang Juli, wo also von keinem Frost die Rede sein konnte, besonders an exponiert stehenden Obstbäumen beobachtete, der Sturm an völlig erwachsenen Blättern infolge der heftigen Schläge und Reibungen, die dabei der Blattkörper erleidet, allerhand schadhafte Stellen hervor, die später trocken und grau aussehen und vom Blattrande aus mehr oder weniger weit in die Blattfläche hineingehen, jedoch sehr unregelmäßig verteilt sind.

Beschädigungen der Baumstämme durch den Sturm.

Beschädigungen der Baumstämme. Die Folgen heftigen Sturmes an den Bäumen sind entweder Windfall oder Windbruch. Ersterer bezeichnet das Umstürzen des ganzen Baumes unter teilweiser Lösung der Wurzeln aus dem Boden, letzterer das Brechen des Baumes in der Krone, oder in einzelnen Ästen oder tiefer am Stamme unter Stehenbleiben der Wurzeln und wenigstens des unteren Stammstückes. Die den Windfall verursachende Entwurzelung hängt sowohl von der Wurzelbildung des Baumes als auch von der Beschaffenheit des Bodens ab. Alle Bäume, welche keine tief gehende Pfahlwurzel, sondern eine mehr in der oberen Bodenschicht entwickelte Bewurzelung haben, daher vor allen unsre Nadelbäume, erliegen unter sonst gleichen Umständen dem Windfall viel leichter als die tiefwurzeligeren Laubbäume. Daher bietet sich in Nadelwäldern nach Orkanen oft ein Bild der schrecklichsten Verwüstung. Da stehen oft nur noch wenige Stämme aufrecht, alle übrigen sind in den verschiedensten Richtungen regellos durch einander

---

[1] Bot. Zeitg. 1869, Nr. 13.

[2] Verhandl. des Bot. Ver. d. Prov. Brandenburg XVIII. und IX.

gestürzt[1]). Auch die aus Stecklingen erzogenen Bäume werden leichter entwurzelt, weil sie nicht wie die Sämlinge eine Pfahlwurzel, sondern nur Seitenwurzeln besitzen. Die Beschaffenheit des Bodens ist insofern von Einfluß, als Bäume auf flachgründigem Gebirgsboden, wo sie nur in einer sehr dünnen Bodenschicht ihre Wurzeln bilden können, vom Sturme viel leichter geworfen werden, als die, welche sich auf tiefgründigem Boden bewurzelt haben. Auch erhöht jeder leichte, lockere Boden, also besonders der Sandboden, die Gefahren des Windfalles im Vergleich zu schwereren, festeren Bodenarten, und das gleiche Verhältnis besteht zwischen dem nicht gefrorenen und dem gefrorenen Erdboden. Windbruch tritt dagegen ein, wenn die Bewurzelung im Boden so fest ist, daß sie nicht nachgiebt. Der Windbruch hängt hauptsächlich von der Beschaffenheit des Holzes ab; er tritt leichter ein an Bäumen, welche spröde, brüchige Äste besitzen, als an solchen, deren Äste biegsamer sind, am leichtesten aber an hohlen und kernfaulen Stämmen und Ästen. Die Bruchstellen liegen dabei bald an der Ursprungsstelle eines Astes, bald entfernter davon; sie stellen dabei stelbstverständlich keine glatten Flächen, sondern Zersplitterungen dar; bisweilen werden Streifen von Splint und Rinde von der Bruchstelle aus weit herab abgeschält, oder von der Verzweigungsstelle aus ist der unter derselben befindliche Ast oder Stamm gespalten. Es handelt sich also hierbei meist um Wunden im großen Maßstabe und um solche, welche am schwersten heilen und in der Folge oft zu Krankheiten oder zu Wundfäule (pag. 106) führen.

Folgen des Windfalles und Windschubes.

W i n d f a l l hat den Tod des Baumes zur Folge, sobald die Wurzeln größtenteils mit ausgehoben oder abgerissen sind. Doch sieht man mitunter vom Sturm geworfene Fichten und Tannen, welche noch genügend bewurzelt geblieben sind, um ernährt werden zu können. Diese vegetieren dann unter eigentümlichen Formen weiter. Ist der Baum in horizontaler Lage auf den Boden hingestreckt, so bekommen oft eine Anzahl der an der zenithwärts gekehrten Seite des Stammes entspringenden und daher ungefähr vertikal stehenden Äste die Fähigkeit, unter kräftigerer Entwickelung senkrecht aufwärts fortzuwachsen, wie eine Hauptaxe, und sich mit horizontal abstehenden Zweigen zu bekleiden, so daß auf dem gefallenen Stamme eine Reihe kleiner sekundärer Bäumchen aufgewachsen ist, die dann gewöhnlich am Grunde selbständig Wurzel schlagen. Die sie trennenden Stücke des Haupt-

[1]) Über die Gegenden Deutschlands, welche besonders oft vom Sturm heimgesucht werden, vergl. B e r n h a r d t, citiert in Forschungen auf d. Gebiete d. Agrikulturphysik 1880, pag. 527.

stammes können dann allmählich trocken werden. Dieselben Wuchsverhältnisse sah Middendorf[1]) auch an einer umgestürzten Birke. Die aufwärts gekehrten Seitenäste können auch schon dann in dieser Weise beeinflußt werden, wenn der Baum nicht vollständig gefallen, sondern nur in sehr schiefe Richtung gekommen ist, wie z. B. bei einer wegen dieser Form „Harfe" genannten Tanne, welche bei Sommerau, unweit Zittau, zu sehen ist. Fichten, welche an schmalen Absätzen steiler Felswände gewachsen sind, werden wegen der hier schwachen Befestigung der Wurzeln leicht geworfen und hängen dann bisweilen, wenn die Wurzeln sich nicht gelöst haben und den Baum weiter ernähren, köpfüber an der Felswand herunter, während der Gipfeltrieb durch Geotropismus in fast halbkreisförmiger Krümmung sich aufgerichtet hat und vertikal nach oben weiter gewachsen ist, wie man derartige Bilder z. B. im Bodethal im Harz antrifft. — Eine ebenfalls durch den Wind bedingte sehr häufige Erscheinung ist die schiefe Richtung der Baumstämme, die man mehr oder weniger an den meisten ganz frei stehenden, besonders an den Chausseen und Landwegen angepflanzten Bäumen sieht, welche, wie man sich ausdrückt, „geschoben" sind, d. h. in der herrschenden Windrichtung (bei uns meistens von West) schief stehen. Aus derselben Ursache erklärt sich der sogenannte „Säbelwuchs", wobei die Baumstämme im unteren Teile schief, nach oben zu allmählich aufwärts gekrümmt erscheinen, was durch die negativ geotropischen Krümmungen der jungen Gipfeltriebe zu stande kommt. Sehr schief gedrückte Stämme bekommen die Neigung, auf der zenitwärts gewandten Seite reichlichere Triebe zu bilden, welche zu üppig und senkrecht aufschießenden sogenannten Wasserreisern werden, die lange Zeit unfruchtbar bleiben und die Entwickelung der fruchttragenden Zweige des Baumes beeinträchtigen. Einen Schutz gegen diese Richtungsänderungen gewährt es, wenn der Baumpfahl schräg gegen die Windrichtung gesteckt wird.

Folgen des Windbruches. Krüppelformen der Baumgrenze.

Die Folgen des Windbruches sind im Allgemeinen schon oben im Kapitel von den Wunden angedeutet worden. Es ist dort die Rede davon, daß die Nadelhölzer den abgebrochenen Gipfel durch einen aufwärts wachsenden Seitentrieb zu ersetzen suchen, daß sie aber mit wenig Ausnahmen nicht die Fähigkeit besitzen, durch Adventivknospen unter den Wundstellen den Verlust älterer Äste zu ersetzen, daher zu Grunde gehen, wenn ihnen der Sturm die ganze Krone abgebrochen hat, indem sie aus dem Stocke keine Ausschläge zu bilden vermögen, daß dagegen die Laubhölzer dadurch nicht getötet werden, weil sie Stockausschläge

---

[1]) Pflanzenwelt Norwegens, pag. 166 u. 184.

machen. Den bedeutendsten Einfluß auf die Baumform hat das Vorkommen an der Baumgrenze in den Gebirgen und im hohen Norden sowie an den Meeresküsten, weil bei den hier herrschenden heftigen Stürmen der Windbruch zu einer immer wiederkehrenden Erscheinung wird. Die eigentümlichen Baumformen, durch welche jene Gegenden charakterisiert sind und über welche ich die nachfolgenden Beobachtungen schon in der ersten Auflage dieses Buches mitgeteilt habe, erklären sich in der That als Wirkungen des Sturmes, was ich ebenfalls am angegebenen Orte schon begründet habe. Für den Krüppelwuchs der Holzgewächse an den Seeküsten hatte schon Borggreve[1]) den mechanischen Einfluß des Windes als die einzig nachweisliche Ursache bezeichnet. An der Grenze der Fichte auf den Gebirgen giebt es keinen eigentlichen Baumwuchs mehr. Die Fichten, selbst die alten mit schenkeldicken Stämmen, können sich hier nicht über einen oder wenige Meter erheben: ihr Gipfel wird immer verbrochen, und so oft sie auch einen neuen zu machen suchen, ereilt diesen dasselbe Schicksal; fast jede Fichte ist hier gipfeldürr, endigt in einen oder mehrere Spieße. Die Beästung ist an diesen Fichten vorwiegend einseitig, und zwar sind die Äste aller Individuen nach einer und derselben Himmelsgegend gekehrt. In unsern norddeutschen Gebirgen, wie auf dem Brocken, auf den Kuppen des Erzgebirges und auf dem Kamme des Riesengebirges, ist das die östliche Richtung, weil hier die herrschenden Stürme aus Westen kommen und der Sturm notwendig zur Folge hat, daß die ihm entgegenstrebenden Äste gebrochen werden, während er auf die an der entgegengesetzten Seite des Stammes befindlichen nur als Zug wirken, und ihnen daher weniger schaden kann. Eine weitere Eigentümlichkeit ist, daß diese Krüppel vom Boden an beästet sind und daß gerade die untersten Äste, welche in dem Heide- und Vacciniengestrüpp, das den Boden bedeckt, oder zwischen den umherliegenden Steinblöcken den besten Schutz gegen Sturm finden, auch die längsten und wohlgebildetsten sind und hier oft, sogar an den verstümmeltsten Formen, rings um den Stamm herum gehen. Der Schutz, den auch die Schneebedeckung gegen den Windbruch gewährt, tritt hierbei ebenso deutlich wie im hohen Norden hervor: so weit sich die Fichte unter den Schnee zurückziehen kann, bleibt sie unversehrt; die hervorragenden Wipfel gehen verloren. An den exponiertesten Stellen im Gebirge verlieren die Fichten das ganze Stämmchen bis auf einen niedrigen Stock, der nie einen Gipfeltrieb aufbringt und an welchem nur ein oder ein paar

---

[1]) Einwirkung des Sturmes auf die Baumvegetation. Abhandlung des naturwissenschaftlichen Ver. zu Bremen 1872.

nahe übereinander stehende Astquirle dicht auf dem niederen Gestrüpp sich ausbreiten, so daß man bequem über diese Fichten hinwegschreiten kann. Im Riesengebirge fand ich über den Schneegruben die letzten Versuche der Fichte in einer Gebirgshöhe, die schon weit über der Baumgrenze lag (bei ungefähr 1400 m); sie bringt es hier nur zu kriechenden Trieben, die sich auf dem Moose und über Steinblöcke hinbreiten; über den Boden sich zu erheben könnte sie dort oben nicht wagen, wo man Stürme erlebt, von denen der Bewohner des Tieflandes keinen Begriff hat. Daß die Unmöglichkeit der Verbaumung nicht durch klimatische Gründe, sondern nur durch den Sturm bedingt wird, ersieht man aus dem Vorkommen solcher Krüppelformen auch in tieferen Lagen, wenn sie an einem dem Sturm sehr exponierten Stande sich befinden. Der Keilberg im Erzgebirge trägt auf seinem westlichen Abhange, also an der Wetterseite, lauter Krüppelfichten, die hier schon bei 1180 m sehr ausgeprägt sind und in zunehmender Verkrüppelung bis zur Kuppe, 1220 m hinauf gehen; aber wenn man auf der Ostseite des Berges niedersteigt, treten schon wenige Schritte unter der Kuppe, also im Schutze vor den Weststürmen, die Fichten hochstämmig auf, und bei 1180 m befindet man sich hier schon im herrlichsten geschlossenen Hochwalde. Ganz ähnliche Krüppelformen nimmt die Lärche an der Baumgrenze in den Nordländern an, wie aus den Beschreibungen in Middendorff's Sibirischen Reisen (pag. 601—606) hervorgeht. Derselbe unterscheidet ebenfalls kriechende Formen, die auf oder unter dem Moose ihr Dasein fristen, und in dieser Form ebenfalls noch jenseits der Baumgrenze angetroffen wurden, und aufrechte, gerade oder gebückte Formen, welche gipfeldürr und ast- und laubarm sind. Von den letzteren werden als besondere Gestalten beschrieben die astlosen Krüppel, an denen nur Spuren mißlungener Versuche von Astbildung und dafür eine große Menge Knospen zu sehen sind, die, wenn sie sich belauben, kuglige Schopfe bilden, und zweitens die spalierbaumartigen Lärchen, bei denen die Zweige, die zum Teil der ganzen Stammlänge gleichkommen, nach zwei Seiten hin stehen, an unsre Spalierbäume erinnernd, worin sich die herrschende Windrichtung ausspricht. Noch eine andre Form beschreibt Middendorff als Krüppelhecken, die teils im äußersten Norden zu sehen sind, wo sie mehr zu den kriechenden Formen gehören, teils auch an der Seeküste des Ochotskischen Meeres auf 640 m hohen Bergen, wo unbändige, unabläßig Staubregen führende Seewinde als die Ursache bezeichnet werden. Diese Krüppel sollen ein Laubgewirr von saftigem Grün entwickeln, das an beschnittene Gartenhecken erinnert, und einen herrlichen Teppich bilden, der oft nur 30 bis 60 cm über der Felswand

emporsteht, dieselbe nicht selten dicht überziehend und verdeckend. Ganz ähnlich beschreibt Kihlmann[1]) die durch den Sturm bedingten Wuchsformen an der Baumgrenze in Russisch Lappland. Als extremster Fall tritt auch hier die Bildung von Matten auf, welche nur die Höhe des umgebenden Flechten- und Reiserfilzes erreichen. Besonders bildet die Fichte, indem ihre Zweige durch Adventivwurzeln sich bewurzeln, solche Matten, welche dem Boden dicht angeschmiegt, in der herrschenden Windrichtung hinkriechen, und ein hohes Alter erreichen; infolge Absterbens der hintersten ältesten Partien erscheint die Matte aus mehreren, von einander unabhängigen Individuen zusammengesetzt: Am oberen Rande steil abfallender Felswände bilden dann solche Matten frei über den Abgrund hinausragende Vorsprünge, welche an die Schneeschilder oder Windschirme der Hausdächer in den Alpen erinnern. Ähnliche Matten bildet dort auch der Wachholder; auch die Birke wächst oft in der dem Boden angeschmiegten Spalierform. Häufig sind auch bei diesen Pflanzen plattgewachsene Tischformen. Kihlmann spricht es ebenfalls bestimmt aus, daß der Einfluß des Windes und die durchschnittliche Tiefe der Schneedecke die bestimmenden Faktoren für diese Wuchsverhältnisse sind. Er konnte sich überzeugen, daß alle Triebe, welche über die kritische Schneelinie hervorragen, absterben, und daß dadurch der jeweilige Wuchs bedingt wird. Die tödliche Wirkung sieht aber Kihlmann nicht in der mechanischen Kraft des Windes an sich, sondern hauptsächlich in der monatelang dauernden ununterbrochenen Austrocknung der jungen Triebe zu einer Jahreszeit, die wegen der Winterruhe der Pflanze jede Ersetzung des verdunsteten Wassers unmöglich macht; er stellt also die Erscheinung in Parallele mit den oben S. 222 besprochenen Wirkungen der ungenügenden Temperatur des Erdbodens auf die Wurzeln.

Verwehungen auf Sandboden.

Als eine schädliche Wirkung des Windes sind endlich noch anzuführen die Verwehungen auf leichten Bodenarten, wenn sie bei trocknem Wetter an jungen Pflanzungen und Saaten durch den Wind veranlaßt werden. An Stellen, welche diesen Beschädigungen am stärksten ausgesetzt sind, müssen Schutzpflanzungen in Heckenform, am besten aus Nadelhölzern, angelegt werden.

---

[1]) Pflanzenbiologische Studien aus Russisch Lappland. Helsingfors 1890, pag. 61 ff.

5. Kapitel.

Der Blitzschlag.

Verschiedene Art, wie die Bäume vom Blitze getroffen werden.

1. Blitzschlag in Bäume. Die Art, wie der Blitz die Bäume trifft und beschädigt, zeigt in den einzelnen Fällen gewisse Verschiedenheiten. Cohn[1]), dem wir eine Zusammenstellung eigener und fremder Beobachtungen über diese Phänomene verdanken, glaubte diese Verschiedenheiten nur aus der Intensität des Blitzstrahles und nicht aus der specifischen Natur des Baumes erklären zu müssen. Später hat aber Daniel Colladon[2]) eine Reihe von Beobachtungen mitgeteilt über Blitzschläge, welche im Thale des Genfer Sees hauptsächlich die italienischen Pappeln, Eichen, Ulmen, Birnbäume und Fichten betroffen hatten, aus denen unzweifelhaft hervorgeht, daß für die einzelnen Baumarten eine gewisse charakteristische Art besteht, wie sie vom Blitze getroffen und verwundet werden, wiewohl die Blitzschläge an einer und derselben Baumart immer auch in den einzelnen Fällen mancherlei Unterschiede zeigen, die von der individuellen Natur des Baumes, von äußeren Verhältnissen und wohl auch von der Natur der elektrischen Entladung abhängig sein mögen. Nach diesen Beobachtungen, die übrigens mit Angaben früherer Schriftsteller übereinstimmen, sind die Erscheinungen des Blitzschlages an den obengenannten Bäumen von folgender Art.

Bei der italienischen Pappel (**Populus pyramidalis** ***Roz.***) bleibt der ganze obere Teil der Krone unversehrt, weder an den dünnen Zweigen noch an den Blättern ist irgend eine Spur von Beschädigung zu sehen; erst in den tieferen Teilen, etwa in einer Höhe von 6 bis 8 m über dem Boden, zeigt sich, meist unter der Vereinigung zweier oder mehrerer großer Äste beginnend, die am Stamme herablaufende Verwundung. Diese stellt einen oder zwei an verschiedenen Seiten des Stammes ziemlich parallel, entweder in senkrechter oder etwas spiraliger Richtung laufende Streifen von wechselnder Breite dar, an denen die Rinde abgerissen, der Splint entblößt oder auch zum Teil abgeschlagen ist. An den Rändern der Wunde ist die stehengebliebene Rinde in einer gewissen Breite vom Splinte abgehoben. In der Mitte des entblößten Holzstreifens befindet sich im größten Teile seiner Länge eine einige Millimeter breite Spalte im Holze, in die man ein Messer mehrere Centimeter tief einführen kann. Die abgerissenen Stücke von Rinde und Holz findet man bis auf eine Entfernung von 30 m vom Baume fortgeschleudert am Boden liegen. Weder sie noch die Wundränder des Stammes zeigen eine Verkohlung, vielmehr beide nur eine mehr oder minder starke Zerfaserung, wie dies auch an andern Baumarten der Fall

---

[1]) Einwirkung des Blitzes auf Bäume. Denkschr. d. schles. Ges. f. vaterl. Cult. Breslau 1853.

[2]) Mém. de la soc. de Phys. et d'hist. nat. de Genève. 1872, pag. 511 ff.

ist. Die Blitzspur geht in geringer Höhe über dem Boden in einen bloßen Riß in der Rinde über, der sich im Boden verliert, oder sie verschwindet gänzlich, ohne den Boden zu erreichen.

Die Eichen werden im Gipfel getroffen; die am meisten vorstehenden Äste lenken in der Regel den Blitz auf sich, brechen oft an ihren Enden und werden, oft ohne ihrer Rinde entkleidet zu werden, getötet; aber nahe unter den getroffenen Ästen beginnt die Blitzspur als ein von der Rinde entblößter Streifen des Holzes und setzt sich ohne Unterbrechung und gleichförmig bis zum Boden fort. Ihr Gang ist gewöhnlich der einer Spirale, die bis 1 3/4 Umläufe beschreiben kann. Die Mitte dieser Wunde ist charakterisiert durch eine ununterbrochene, 2—3 cm breite Furche von so regelmäßig halbcylindrischer Form, als wäre sie mittelst eines Instrumentes ausgeschnitten. Im Grunde dieser Rinne befindet sich stellenweise eine schmale Spalte, in welche ein Messer einige Centimeter tief eingeschoben werden kann. Am Rande der Blitzspur ist die Rinde vom Splint etwas abgehoben. Durch ältere Beobachter ist konstatiert[1]), daß die erwähnten Spalten im Holze bei den Eichen zu einem vollständigen Zerspellen des Stammes führen können, indem der Holzkörper senkrecht zur Oberfläche in parallele Leisten zerschlagen wird; auch hat man beim Fällen vom Blitze getroffener Eichen die Jahresringe von einander getrennt gefunden und endlich auch eine Spaltung des Holzkörpers nach beiden Richtungen zugleich beobachtet, so daß der Stamm wie ein besenartiges Bündel von vielen dünnen Splittern erschien.

Die Ulmen werden nach Daniel Colladon mehrere Meter unter dem Gipfel getroffen; dieser selbst bleibt unversehrt. Die Wunde läuft regelmäßig und ununterbrochen als ein von Rinde entblößter Holzstreifen herab. Die an den Eichen gefundene halbcylindrische Furche auf der Mitte des Streifens wurde nicht wahrgenommen.

Beim Blitzschlag in Birnbäume hat man folgende Erscheinungen beobachtet[2]). Einmal war der Stamm zum größten Teil verschwunden, nur 6 mit den Wurzeln im Zusammenhange befindliche Splitter waren stehen geblieben, und rings umher lagen die abgeschlagenen 5 großen Äste, welche selbst fast ganz unverletzt waren. Ein andrer Baum zeigte gar keine Verletzung weiter als 2 1/2 Meter unter dem Gipfel Furchen in der Rinde der Äste und einige vom Stamme abgelöste Rindefetzen; auch blieb er nach dem Blitzschlage am Leben. An einem dritten endlich war der ganze Stamm von den Ästen bis zur Wurzel völlig entrindet, während die Äste selbst Rinde, Blätter und Früchte behalten hatten; zugleich war der Baum in zwei Teile zerspalten, deren jeder wieder mehrere Spalten hatte. Jedesmal war der Erdboden in der Nähe des getroffenen Baumes aufgewühlt, wobei einmal eine Wurzel sichtbar war, die ihrer Umhüllung beraubt war.

An einer Fichte beobachtete Daniel Colladon einen Blitzschlag, wobei nahe am Gipfel an der vom Blitze berührten Seite die Nadeln rötliche Flecken oder Spitzen bekommen hatten, sonst aber nichts weiter sich zeigte als eine am Stamme 8 Meter unter dem Gipfel beginnende tiefe Spalte der Rinde, welche 1/2 Meter weit herablief; wenig darunter befand sich daneben eine zweite, und auf diese folgte eine dritte Spalte, welche spiralig bis nahe zum Boden sich erstreckte.

---

[1]) Vergl. Cohn, l. c. pag. 6—7.

[2]) Vergl. Daniel Colladon, l. c. pag. 538—543.

Nur zweimal beobachtete Daniel Colladon außerdem noch eine Erscheinung, welche bis dahin noch nicht bekannt war. An einer Pappel hatte die auf der Mitte der Blitzspur befindliche Spalte des Holzes in der ganzen Länge beiderseits einen etwa 4 Millimeter breiten Rand von bräunlicher Farbe, als wie im Ofen getrocknet, und außerdem auf dem entblößten Holzstreifen beiderseits der Spalte in verschiedenen Höhen 7 genau kreisrunde Flecken von 8 bis 10 Millimeter Durchmesser und etwas dunklerem Braun als jene Bänder; davon lagen 4 zu zwei teilweise übereinander. Diese Flecken zeigten nichts weiter als eine lokale starke Austrocknung, als wären sie mit einem heißen Eisen berührt worden. Diese Erscheinung zeigte sich auch an der erwähnten Fichte, wo 10 solcher Flecken sämtlich auf der Spalte vorhanden waren, die der Blitz hervorgebracht hatte; dieselben waren 3—5 cm im Durchmesser, ebenfalls fast genau kreisrund und hier die einzigen Stellen auf den Spalten wo die Rinde weggeschlagen war, so daß sie dunklere freie Stellen Holzes darstellten, welche mitten von der Spalte durchzogen waren. Die Ursache dieser Erscheinung ist unbekannt; Daniel Colladon vermutet, daß es die Folgen von elektrischen Strömen sind, welche rechtwinkelig zur Oberfläche des Stammes aus diesem in Form cylindrischer Funken herausgeschlagen sind.

Bahn des Blitzes im Stamme.

Die Bahn der Blitzspur, also der mehr oder minder spiralige Verlauf der Spalten des Holzes und der abgelösten Rindestreifen, wird von Cohn wie von Daniel Colladon übereinstimmend zu dem schiefen Verlauf der Holzfasern und der daraus resultierenden spiralig gedrehten Form der meisten Stämme in Beziehung gebracht. Eine bemerkenswerte Bestätigung dieser Beziehung liefert auch die von dem letztgenannten Beobachter gemachte Wahrnehmung, daß an Eichen, die als Kopfholz gezogen werden, die Blitzspur nicht eine Spirale, sondern eine Wellenlinie bildet, indem sie an den knorrig gewachsenen Stämmen immer den Knoten ausweicht. Cohn sieht in diesen Wunden aber nicht die Bahn des Blitzes, sondern nur die Stellen, an denen die Rinde der Explosion den geringsten Widerstand leistet, und sucht die Zersprengung dadurch zu erklären, daß er annimmt, der Hauptstrom der Elektricität gehe durch die Kambiumschicht und verwandle deren Flüssigkeit plötzlich in Dampf, während ein Nebenstrom durch den Holzkörper gehe und die hier bisweilen auftretenden Spalten bedinge. Beobachter wollen zwar beim Einschlagen des Blitzes in Bäume eine Rauchsäule gesehen haben; es ist aber nicht ausgemacht, ob dieselbe von dem Baume oder von der gewaltsam und in feiner Zerteilung aufgeworfenen Erde herrührte. Daniel Colladon macht dagegen geltend, daß ja durch den Blitz viele kräftige Wirkungen von Anziehung und Abstoßung hervorgebracht werden, welche mit Verdunstung von Wasser nichts zu schaffen haben. Die Beschaffenheit der an den Stämmen herablaufenden Wunden spricht dafür, daß sie selbst die

Bahn des elektrischen Stromes sind. Die Beschränkung desselben auf diese Stellen steht ja auch im Einklange mit der Thatsache, daß der Blitz beim Durchschlagen schlechter Leiter, zu denen auch die Baumstämme gehören, sich plötzlich zusammenzuziehen vermag. Auch Caspary[1]) hebt gegen die Cohn'sche Ansicht hervor, daß die Kambiumschicht, wenn sie ganz vom elektrischen Funken durchzogen würde, notwendig auch ganz verletzt werden müßte, was nicht der Fall ist.

Entzündung durch den Blitz.

Entzündet werden gesunde Bäume nie vom Blitz, wohl aber solche, welche aus trockenem und daher entzündlichem Holze bestehen. So hat Daniel Colladon zwei Blitzschläge in hohle Kopfpappeln beobachtet, von denen die eine sich im Innern des Stammes entzündete, so daß die Zweige zerstört wurden, bei der andern das innere tote Holz verkohlt, jedoch durch den Regen gelöscht wurde und einige junge Zweige wahrscheinlich infolge der Verbrennung vertrocknet waren. Ebenso wird von Caspary (l. c.) die Entzündung durch den Blitz von einer Kiefer, welche zunderartiges faules Holz enthielt, und von Beyer[2]) sowie von Buchenau[3]) von kernfaulen Eichen angegeben. Gleiches ist in den Tropen an dürren Ästen und Blattstielen von Palmen zu beobachten.

Folgen des Blitzschlages für das Leben des Baumes.

Die Folgen des Blitzschlages sind nicht notwendig tödlich. Daß Bäume, die vom Blitze irgend stärker zerschmettert oder ihrer Rinde ringsum entkleidet sind, eingehen, ist selbstverständlich. Wo aber die Krone und der Stamm erhalten und die Verwundung des Kambiums auf einen schmalen Streifen beschränkt ist, ist die Lebensfähigkeit des Baumes nicht vernichtet. In der That sind auch zahlreiche Fälle bekannt, wo vom Blitz getroffene Bäume mit dem Leben davon gekommen sind. Der Wundstreifen am Stamme heilt dann wieder, indem er von beiden Rändern her überwallt wird. Bemerkenswert ist, daß man in Wäldern bisweilen ein Absterben ganzer Baumgruppen im Umkreise eines vom Blitze direkt getroffenen Baumes beobachtet hat. Baur[4]) teilt 7 verschiedene solche Fälle mit, die sich alle auf Fichte, Tanne und Kiefer beziehen. Ebensolche Beobachtungen werden von Beling[5]) und von R. Hartig[6]) angeführt.

---

[1]) Schriften d. phys.-ökon. Ges. zu Königsberg 1871, pag. 69 ff.

[2]) Verhandl. d. bot. Ver. d. Prov. Brandenburg, 28. Januar 1876.

[3]) Beachtenswerte Blitzschläge in Bäume, Abhandl. des naturw. Ver. Bremen IX. pag. 312 ff.

[4]) Der Blitz als Waldverderber. Monatsschr. f. Forst u. Jagdwesen. Jahrg. 17, Märzheft.

[5]) Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen. November 1873.

[6]) Just, Botan. Jahresber. 1875, pag. 956.

Häufigkeit des Blitzschlages nach Baumarten. Spezifisch ungleiche Disposition der Bäume.

Dem Blitzschlag sind alle Baumarten ausgesetzt. Die Meinung der Alten, daß der Lorbeer gegen den Blitz geschützt sei, ist durch Beobachtungen widerlegt. Jedoch ist nicht zu leugnen, daß gewisse Bäume häufiger als andre vom Blitz getroffen werden, was allerdings großenteils aus der ungleichen Häufigkeit derselben in den einzelnen Gegenden und aus der ungleichen Exposition der einzelnen Baumarten zu erklären ist. Von 40 Beobachtungen von Blitzschlägen in Bäume, welche Cohn zusammengestellt hat, kommen 14 auf Eichen, 12 auf Pappelarten, 3 auf Birnbäume, je 2 auf Tannen, Kiefern und Buchen, je 1 auf Erlen, Ulmen, Nußbäume, Ebereschen, Robinien. Caspary hat 93, und zwar 53 selbstbeobachtete, 40 von andern Beobachtern konstatierte Fälle gesammelt, unter denen 20 Populus pyramidalis, 14 Populus monilifera, 15 Eichen betreffen. Ebenso ist unter den von Daniel Colladon beschriebenen Fällen im Thale des Genfer Sees die italienische Pappel 11, die Eiche 3 mal vertreten. Der hohe, schlanke Wuchs der italienischen Pappel und die große Anzahl, in der dieser Baum auf Chausseen und an den exponiertesten Stellen steht, ebenso die über alle andern Waldbäume hervorragende Höhe der Eichen lassen jene Thatsachen begreiflich erscheinen. Nichtsdestoweniger scheint zu der großen Häufigkeit des Blitzschlages in Pappeln auch eine größere specifische Fähigkeit dieses Baumes, den Blitz auf sich zu lenken, eine größere Leitungsfähigkeit desselben, vielleicht auch die größere Verbreitung der Wurzeln dieses Baumes im Boden beizutragen. Denn Daniel Colladon erwähnt einige Fälle, wo der Blitz in eine Pappel einschlug, obgleich höhere Bäume in der Nähe standen, die der Blitz verschonte; selbst eine niedere Kopfpappel fand der Blitz zwischen benachbarten höheren andern Bäumen heraus. Etwas Ähnliches bezüglich der Eiche scheint aus dem von R. Hartig (l. c.) erwähnten Falle zu folgern zu sein, bei dem in einem gemischten Fichten- und Eichenbestande nur die unterdrückten Eichen Blitzschläge erkennen ließen, während die vorwüchsigen Fichten verschont geblieben waren. Nach einer kürzlich von Jonescu geäußerten Ansicht sollen Bäume, welche reichlich Öl in ihren Geweben enthalten, wie die Kiefer, schwerer vom Blitze getroffen werden, als Bäume, welche weniger Öl enthalten, dagegen reicher an Stärkemehl sind, was der Genannte mit der größeren Widerstandsfähigkeit des Öles gegen das Durchschlagen des elektrischen Funkens in Zusammenhang gebracht wissen will.

Einfluß äußerer Verhältnisse.

Unter sonst gleichen Umständen, also insbesondere gegenüber Bäumen derselben Species, sind äußere Verhältnisse von unverkennbarem Einfluß. Auch in dieser Beziehung hat Daniel Colladon, besonders an italienischen Pappeln, einige beachtenswerte Beobachtungen gemacht.

Wenn auf gleich hohem Terrain eine Anzahl ungleich hoher Pappeln nahe beisammenstand, war es immer die höchste, in welche der Blitz schlug, oder welche die stärkste elektrische Entladung empfing, während die nächst höhere schwächer getroffen wurde; bisweilen schlug ein einziger Blitz auch in mehrere der höchsten Pappeln zugleich. Wo auf wellenförmigem Terrain gleich hohe Pappeln standen, fiel die höchststehende dem Blitz zum Opfer. Vielleicht hat auch die Feuchtigkeit des Bodens einen Einfluß. Ein von Süd nach Nord ziehendes Gewitter schlug in die fast am weitesten nördlich stehende, im Verhältnis zu den übrigen nicht höhere Pappel einer Straße, da wo dieselbe über einen wassergefüllten Kanal führte, und die Blitzspur verlief auch in eine dicke Wurzel, die nach dem Kanal gerichtet war.

Blitzschlag in Weinberge.

2. Blitzschlag in Weinberge. Nach den von Daniel Colladon[1]) mitgeteilten Erfahrungen sind mitunter Blitzschläge in Weinberge vorgekommen, deren Folgen derselbe an einem von ihm selbst beobachteten Fall beschreibt. Die vom Blitz getroffene Stelle war schon weithin als eine kreisrunde Fläche im Weinberge daran zu erkennen, daß die auf derselben stehenden Weinstöcke, 335 an der Zahl, eine Menge ziegelroter Flecken auf den Blättern zeigten, die in den übrigen Teilen des Weinberges nicht zu sehen waren. In der Mitte dieser Fläche waren Löcher in der Erde zu bemerken und mehrere Pfähle umgeworfen. Die dort stehenden Weinstöcke hatten am meisten fleckige Blätter, im übrigen aber, insbesondere an den Stengeln, keine Verletzung; auch blieben die Pflanzen am Leben. Die Blattflecken nahmen den vierten Teil bis die Hälfte der Blattfläche ein; sie waren anfangs tiefer grün und wurden nach einigen Tagen ziegelrot. Eine Veränderung der Gewebe zeigte sich außer an den Blättern auch an den jüngeren und saftigen Teilen des Stengels, besonders am Cambium; sie bestand in einer Verfärbung in braun, rötlich oder schwärzlich. Die Zellwände waren intakt, aber das Protoplasma kontrahiert und getötet; die Stärkekörnchen erhalten; das Holz und die Gefäße unversehrt. Nach Rathay[2]) kommt diese Rötung der Weinblätter nur an den Arten mit roter Herbstfärbung vor und ist auch nur eine mittelbare Folge des Blitzes, nämlich dadurch verursacht, daß der Blitz in den Mittelstücken mehrerer aufeinander folgender Internodien das Gewebe außerhalb des Cambiums tötet und so eine Art Ringelung bewirkt; das Kambium bleibe lebendig und erzeuge nach außen einen von Wundkork umhüllten Callus und nach innen einen Holzring, der

---

[1]) l. c. pag. 548—553.

[2]) Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Wien, 16. April 1891.

16*

vom älteren Holze durch eine dünne, gebräunte Schicht geschieden ist. Die Trauben solcher Reben vertrocknen.

Blitzschlag in Wiesen und Äcker.

3. Blitzschlag in Wiesen und Äcker. Nach den von Daniel Colladon[1]) aus älteren Notizen zusammengestellten Beobachtungen hinterließ ein Blitzschlag in eine Wiese seine Spur auf einer Fläche von 6 m Durchmesser, wo die höchsten Köpfe der Disteln getötet waren, die niederen Teile des Rasens aber sich unversehrt zeigten, an zwei Punkten war der Boden aufgewühlt, an andern der Rasen emporgehoben. In einem Kartoffelacker hatte der Blitz ein Loch und halbkreisförmige Furchen in der Erde gebildet; die Pflanzen daselbst waren unversehrt, nur an einer Stelle dieser Fläche zeigte sich die Basis der Stengel wie verbrannt, zerrissen oder teilweise breiig. Auf einem vom Blitz getroffenen Rübenacker waren die Blätter an ihrem Rande vertrocknet und zusammengeschrumpft, rötlich oder violett gefärbt und stellenweise zerrissen.

Theoretisches.

Die Theorie des Blitzschlages in Pflanzen, soweit bis jetzt von einer solchen die Rede sein kann, muß alle unter den verschiedenen Verhältnissen beobachteten Erscheinungen zu umfassen suchen. Man muß mit Daniel Colladon davon ausgehen, daß der elektrische Strom sich zu zerteilen oder sich zusammen zu ziehen vermag, je nachdem der Körper ein guter oder schlechter Leiter ist. So durchschlägt er die Luft in Form eines Strahles, zerteilt sich aber, wenn er auf eine mit Vegetation bedeckte Fläche von gewisser Ausdehnung trifft, in ein Strahlenbüschel oder in eine erweiterte Ausbreitung und berührt zugleich eine Menge von Blättern, Zweigen u. s. w. Ist diese Vegetationsfläche von ganz gleichmäßiger Höhe und Beschaffenheit, wie in Weinbergen, Äckern 2c., so wird die Ausbreitung des elektrischen Stromes eine ungefähr kreisförmige werden müssen, wo die Wirkung im Centrum am stärksten ist und gegen die Peripherie sich abschwächt. Wo aber die Vegetationsfläche Unregelmäßigkeiten der Form und Erhebung zeigt, wie die Oberfläche eines Baumes oder eines Waldes, da zerteilt sich der elektrische Strom über eine große Fläche und hüllt den ganzen Wipfel eines oder mehrerer Bäume zugleich ein. Es ist möglich, daß in solchem Falle mehrere Centren der Einwirkung vorhanden sind, und wahrscheinlich, daß die elektrische Ausbreitung für jeden Fall eine verschiedene Form hat, die durch diejenige der Baumwipfel bestimmt wird. Auch wird man vermuten dürfen, daß, je gleichmäßiger die elektrische Entladung ist und auf eine je größere Fläche sie sich verteilt, desto geringer die Wirkung auf die berührte Oberfläche sein wird, die sich bis zu einem vollständigen Unverletztbleiben des Laubes abschwächen kann. Die Annahme einer solchen Ausbreitung des elektrischen Stromes über die Krone des Baumes wird auch durch den Umstand bekräftigt, daß derselbe oft nicht in einer einzigen, sondern in mehreren getrennten Bahnen am Stamme herabgeht. Um endlich in den Boden zu gelangen, muß er den Baumstamm der Länge nach durchschlagen, und da dieser ein schlechter Leiter ist, so zieht er sich hier auf eine enge Bahn zusammen, die er entweder bis zum Boden verfolgt, oder aus welcher er schon vorher heraus und in den Boden überspringt.

[1]) l. c. pag. 555—556.

6. Kapitel.

Das Feuer.

Beschädigungen von Pflanzen durch Feuer kommen besonders in den Forsten vor. Durch ein am Boden hinlaufendes Feuer können die unteren Teile der Baumstämme beschädigt werden, sobald die Kambiumschicht getötet wird. Ob dies geschieht, hängt zunächst von der Intensität und der Zeitdauer des Feuers ab. Von Einfluß ist aber auch die Beschaffenheit der Rinde und Borke, also die Baumart und das Baumalter. In älteren Kiefernbeständen können die unteren Borketeile schwarz und verkohlt sein, ohne daß die Kambiumschicht angegriffen ist, weil sie durch eine dicke, schlecht die Wärme leitende Borkeschicht geschützt war; in solchem Falle ist der Baum nicht beschädigt. Dagegen sind dünnrindige Bäume viel empfindlicher; wenn man bei Einschnitten in die Rinde die letztere gebräunt sieht, so ist das ein Zeichen, daß hier die Kambiumschicht getötet ist. Trotzdem können solche junge Bäume, deren Rinde unten ringsherum verbrannt ist, zunächst ausschlagen und ergrünen, aber im Laufe des Sommers sterben sie ab. Es können dann neue Ausschläge aus dem Stocke unterhalb der Brandwunde kommen; dies geschieht nach R. Hartig sogar noch besser, wenn der Stamm ganz verbrannt war oder bald nach dem Feuer über der Erde abgehauen worden ist. Die gegen Waldbrände zu ergreifenden Maßregeln, die besonders in dem Ziehen der Isoliergräben bestehen, um das Feuer zu begrenzen, sind mehr Gegenstand des Forstschutzes.

Waldbrände.

IV. Abschnitt.

Erkrankungen durch Bodeneinflüsse.

1. Kapitel.

Vertauschung des Erdbodens mit einem ungeeigneten Medium.

Jeder Pflanze ist von Natur ein bestimmtes Element angewiesen, in welchem sie leben muß. Es giebt einesteils Wasserpflanzen, d. s. solche, deren Wurzeln im Wasser oder im Grunde des Wassers und deren Blätter im Wasser oder über dem Wasserspiegel sich befinden, und anderenteils Landpflanzen, d. s. diejenigen, welche in der freien Luft wachsen und mit den Wurzeln und andern typisch unterirdischen Organen im Erdboden sich entwickeln.

Das natürliche Medium der Pflanze.

Wasserpflanzen auf dem Trocknen.

Die Wasserpflanzen kommen außerhalb des Wassers nicht fort. Die submersen Wasserpflanzen, an die Luft gebracht, vertrocknen und sterben sehr rasch. Solche mit schwimmenden Blättern, wie Hydrocharis morsus ranae, die Nymphäaceen, Wasserlinsen, vermögen nach zurückgetretenem Wasser auf feuchtem Boden noch einige Zeit zu vegetieren, wobei die ersteren sehr kurze Blattstiele und dem Boden fast anliegende, ziemlich kleine Blätter entwickeln; aber jeder stärkere Grad von Entwässerung des Bodens tötet sie. Eine Ausnahme machen nur die sogenannten amphibischen Pflanzen, wie z. B. Polygonum amphibium, welches im Wasser als echte Wasserpflanze mit Schwimmblättern lebt, auf Wiesen in einer Landform mit Blättern, die dem Aufenthalt in der Luft angepaßt sind, wächst.

Landpflanzen in Wasser wurzelnd. Wasserkulturen.

Für die Landpflanzen kann nun ebenso behauptet werden, daß für ihre Wurzeln der natürliche Erdboden das allein oder doch am besten geeignete Medium ist. Indessen kann man wohl alle Landpflanzen auch im Wasser wurzelnd kultivieren, wie die sogenannten Wasserkulturen beweisen, welche in der Pflanzenphysiologie zum Studium der Ernährungsfragen angestellt werden. Jedoch sind Wurzeln der Landpflanzen, die im Boden sich ausgebildet haben, nicht ohne weiteres der Ausübung ihrer Funktion im Wasser fähig; meist sterben sie nach dem Umsetzen ins Wasser ab, und es bilden sich aus dem oberen Teile der Wurzel neue von der (unten beschriebenen) Organisation der Wasserwurzeln, die dem veränderten Medium angepaßt sind. Und ebenso bilden sich die Wurzeln im Wasser kultivierter Pflanzen beim Umsetzen in Erde erst in der Form von Erdwurzeln weiter, ehe wieder eine genügende Wurzelthätigkeit stattfindet und die inzwischen welk gewordenen Pflanzen sich wieder erholen. Darum erzieht man die zu den eben erwähnten Wasserkulturen bestimmten Pflanzen aus Samen gleich von Anfang an ohne Erdboden, indem man schon die ersten Wurzeln der Keimpflanzen in der Nährstofflösung sich entwickeln läßt. Nun ist zwar nicht zu leugnen, daß manche Pflanzen, vorausgesetzt, daß in dem Wasser die nötigen Nährstoffe in richtiger Menge und richtigem gegenseitigem Verhältnis aufgelöst sind, in solchen Wasserkulturen sich oft recht gut entwickeln, bis zur Bildung zahlreicher Früchte und Samen gelangen und in jeder Beziehung so gesund aussehen, als wenn sie im Erdboden gewachsen wären. Aber sehr oft tritt auch, ohne erkennbare Ursache, bei diesen Versuchen schon frühzeitig ein Kränkeln der Pflanzen ein, an welchem sie frühzeitig zu Grunde gehen, und zwar weniger in Bezug auf das Wurzelsystem, welches meist gut entwickelt erscheint, als vielmehr in den oberirdischen Teilen; ganz besonders zeigt sich hier oft eine über die ganze Pflanze

verbreitete Gelbsucht, indem sämtliche Blätter anstatt grün hellgelb gefärbt sind. Bei Mais, Erbsen, Lupinen, Sonnenblumen &c. kann man oft diese Erfahrung machen. Die Ursache der Gelbsucht ist in diesem Falle um so weniger aufgeklärt, als es dabei an keiner der bekannten Bedingungen der Chlorophyllbildung (Licht, genügende Wärme, Eisen unter den Nährstoffen) mangelt und ein andermal, bei unter ganz denselben Verhältnissen angestellten Wasserkulturen dieselben Pflanzen normal ergrünen.

Wenn dagegen erwachsene Pflanzen, deren Wurzeln im Erdboden sich entwickelt haben, in Wasser gesetzt werden, so gehen solche Pflanzen meist ziemlich bald ein, was sich eben daraus erklärt, daß das ganze bisherige Landwurzelsystem abstirbt und nicht mehr funktioniert, die neuen Wasserwurzeln aber, welche die Pflanze noch mehr oder weniger zu bilden im Stande ist, keineswegs hinreichen für den Bedarf der erwachsenen Pflanze. Namentlich an Bäumen kann man dies beobachten. Wenn ein mit Bäumen bestandenes Terrain auf die Dauer unter Wasser gesetzt wird, so sterben alle darauf stehenden Bäume mit Sicherheit binnen kurzer Zeit ab.

Veränderungen der Wurzeln beim Wachsen im Wasser.

Wenn Wurzeln der Landpflanzen im Wasser sich entwickeln, so erleiden sie mehr oder minder eine Gestaltsveränderung: sie werden sehr lang, bleiben aber dünner und haben daher eine regelmäßige schlank fadenförmige Gestalt, bilden auch ihre Zweige in regelmäßigerer Anordnung und Vollständigkeit aus, als im Boden; und da auch alle Wurzelzweige sich stark strecken und sich in ihrer ganzen Länge wiederum verzweigen, so werden aus solchen Wurzeln, wenn sie lange Zeit im Wasser sich entwickelt haben, große filzige Massen. Der stärkste Grad dieser Bildung sind die sogenannten Fuchsschwänze, Wurzelzöpfe oder Drainzöpfe, die sich in Drainröhren, Wasserleitungen und dgl. entwickeln und oft in einer Länge von mehreren Metern und von der cylindrischen Form der Röhre, in der sie stecken, angetroffen werden, wobei sie den Abdruck der Unebenheiten der Röhre erkennen lassen. Solche Wurzelzöpfe bildet besonders die Weide, aber Cohn[1]) hat auch einen Wurzelzopf beobachtet, der aus den Verzweigungen eines unterirdischen Stockes von Equisetum bestand, von dem ein 12 m langes Stück sich freilegen ließ. Die Wasserwurzeln der Landpflanzen sind wasserreicher, turgescenter und spröder, und vertrocknen außerhalb des Wassers schneller als die in der Erde gebildeten. Ihre Zellen haben größere Länge und geringere Breite, die Bildung von Wurzelhaaren unterbleibt bei manchen Pflanzen im Wasser ganz, bei andern bilden

[1]) Verhandl. d. schles. Gesellsch. f. vaterl. Kultur, 25. Oktober 1883.

sich solche, doch oft in geringerer Entwickelung; auch entstehen in der inneren Rinde unregelmäßige Lufträume durch Trennung und Schrumpfung der Zellen. Die Epidermis und die primäre Rinde werden im Wasser zeitiger desorganisiert; und wo darunter eine Korklage sich bildet, wird diese an den Wasserwurzeln oft zeitig der Länge nach zerrissen und endlich abgestoßen durch eine üppige Zellenvermehrung der sekundären Rinde, deren Zellen sich radial strecken und dabei lufthaltige Intercellularräume bilden, so daß sie ein weißes, schwammiges Gewebe darstellen[1]). In schwächerem Grade treten diese morphologischen und histiologischen Veränderungen schon hervor, wenn die Wurzeln in sehr nassem Boden sich entwickeln[2]).

Schädlicher Einfluß der Untertauchung auf oberirdische Pflanzentheile. Überschwemmungen.

Die oberirdischen Teile der Landpflanzen müssen in der Luft, sie dürfen weder unter Wasser noch im Erdboden sich befinden. Ist eine dieser beiden Bedingungen nicht erfüllt, so sind krankhafte Zustände die Folge. Mer[3]) fand Untertauchung meist von schädlichem Einfluß auf die Luftblätter der Landpflanzen (unschädlich z. B. für Epheublätter). Die tödliche Wirkung tritt je nach Arten ungleich schnell ein. Junge Blätter leiden weniger als alte. Aber sie bilden unter Wasser kein Stärkemehl im diffusen Licht, nur Spuren davon im Sonnenlichte, und die vorhandene Stärke geht bald verloren, was mit Böhm's Beobachtungen übereinstimmt, wonach grüne Blätter von Landpflanzen, in kohlensäurehaltiges Wasser getaucht, sobald sie wirklich benetzt sind, keinen Sauerstoff mehr abscheiden. Zuletzt dringt das Wasser in die Lufträume des Blattparenchyms ein, und die Blätter verderben. Daher bleiben bei Überschwemmungen oberirdische grüne Teile der Landpflanzen nicht ohne Schaden längere Zeit vom Wasser bedeckt. Nach den Wahrnehmungen, die Robinet[4]) in davon betroffenen Baumschulen machte, litten nach zweitägiger Bedeckung mit Wasser oder starben gänzlich ab die meisten derjenigen Pflanzen, an denen sich eine 10—12 cm hohe Schlammschicht abgesetzt hatte, während die nicht vom Schlamme bedeckten oder davon gereinigten nicht litten. Platanen, Erlen, Ulmen wurden auch durch die Schlammbedeckung nicht beschädigt, und Pappeln und Trauerweiden entwickelten sogar aus der Stamm-

---

[1]) In ähnlicher Weise nur in weit stärkerem Grade tritt dies normal an den Wurzeln wasserbewohnender Onagraceen und Lythraceen, z. B. bei Jussiaea auf, das sogen. Aërenchym bildend. Vergl. mein Lehrb. d. Botanik I. pag. 166.

[2]) C. Perseke, Über die Formveränderung der Wurzel in Erde und Wasser. Dissertation, Leipzig 1877.

[3]) Bull. de la soc. bot. de France 1876, pag. 243.

[4]) Citiert in Wiener Obst- und Gartenzeitung 1876, pag. 37.

basis Wurzeln in den Schlamm. Diese Widerstandsfähigkeit hängt damit zusammen, daß die betreffenden Pflanzen auch einen sehr nassen Standort gut vertragen.

2. Kapitel.

Ungünstige räumliche Verhältnisse und Lagenverhältnisse des Erdbodens.

Pflanzen in zu kleinen Blumentöpfen.

1. Ungenügendes Bodenvolumen. Wer sich mit vergleichenden Kulturversuchen von Pflanzen in Blumentöpfen oder Vegetationsgefäßen beschäftigt, kennt sehr wohl den bedeutenden Einfluß, welchen die Größe des den Wurzeln zur Ausbreitung verfügbaren Raumes auf die Größenverhältnisse der oberirdischen Teile und auf die Produktion an Pflanzensubstanz ausübt. Kultiviert man eine und dieselbe Pflanzenart in dem gleichen Boden im freien Lande und in verschieden großen Blumentöpfen, so bemerkt man, daß die Höhe der Stengel, die Verzweigung derselben, die Größe der Blätter, die Zahl der Blüten und Früchte im Vergleich mit den Freilandpflanzen um so mehr abnimmt, je kleiner der Topf ist. Dies zeigt sich auch dann, wenn man Düngung im Überfluß gegeben hat, so daß also ein Mangel an disponiblen Nährstoffen daran keine Schuld haben kann. Von Hellriegel[1]) ist diese Erscheinung zum Gegenstand besonderen Studiums gemacht worden. Er fand z. B. beim Klee folgende Beziehungen.

Erdinhalt der Glasgefäße	Ernte-Trockensubstanz in 3 Jahren.
18600 gr.	417,2 gr.
12400 „	254,6 „
6200 „	173,0 „
3100 „	76,8 „

Bei Erbsen, Bohnen und andern Pflanzen fand Hellriegel, daß, wenn die Bodenmenge sich wie 1:2 verhält (3100:6200 gr), die Ernte sich wie 1:1,6 bis 1,8 herausstellt. Indessen zeigen sich doch je nach Pflanzen und Bodenarten Verschiedenheiten. Ich habe in kleinen Töpfen, welche nur ca. 1,2 l Erde faßten, Erbsen zu fast normaler Höhe und Produktion bringen können, wenn ein guter, humusreicher Gartenboden verwendet wurde[2]). Allbekannt ist ja auch, daß Gärtner leidlich gut entwickelte Pflanzen erziehen in sehr kleinen Töpfen, wenn diese nur mit sehr nährkräftigem Boden gefüllt sind. Dagegen tritt die Reduktion in der Pflanzenentwickelung immer sehr bedeutend hervor, wenn man zu solchen Versuchen einen weniger guten Erdboden nimmt. Selbst

[1]) Beiträge z. d. naturwiss. Grundlagen des Ackerbaues. Braunschweig 1873, pag. 184.

[2]) Die Assimilation freien Stickstoffes bei den Pflanzen in ihrer Abhängigkeit von Species ꝛc. Landwirtsch. Jahrb. XXI. pag. 33.

noch andre Entwickelungserscheinungen, außer der allgemeinen Reduktion der Größenverhältnisse, können sich dabei ändern. Ich habe in Glasgefäßen von 2 l Inhalt, die mit leichtem Sandboden gefüllt sind und eine Düngung mit Kali und Phosphorsäure, jedoch nicht mit Stickstoff erhalten haben, Oenothera biennis schon bis ins dritte Jahr lebend erhalten, aber nur unter Bildung einer sich immer wieder erneuernden Wurzelblattrosette, also ohne Bildung des blühenden Stengels, während diese Pflanze normal zweijährig ist und im ersten Jahre eine Wurzelblattrosette entwickelt, im zweiten Jahre den blühenden Stengel bringt und dann abstirbt, so daß hier die Blütenbildung immer verhindert und damit die ganze Entwickelungsdauer der Pflanze verlängert wird.

Um eine Erklärung für diesen Einfluß des beschränkten Bodenvolumens zu gewinnen, muß man zunächst festhalten, daß, wie schon erwähnt, nach den obigen Versuchen Mangel an Nährstoffen nicht die Ursache sein kann. Dasselbe Nährstoffquantum würde mehr leisten, wenn die Wurzeln sich weiter ausbreiten könnten. Der Grund muß also in den mechanischen Widerständen liegen, welche sich der Entwickelung eines normalen Wurzelsystems entgegenstellen. Sorauer[1]) will die vielen Krümmungen und Quetschungen, welche die Wurzeln in kleinen Kulturgefäßen erleiden, verantwortlich machen; das ist aber keine befriedigende Erklärung. Die Sache liegt vielmehr offenbar so. In ihrer nächsten Umgebung entwickelt die Pflanze auch in einem engen Topfe nicht mehr Wurzelmasse als im fernen Lande; die weiter hinzukommenden Wurzeln sind auch für eine weitere Entfernung vom Standorte der Pflanze bestimmt; da sie diese nun im engen Topfe nicht erreichen können, so häufen sie sich da, wo der Widerstand liegt an; es entsteht, wie bekannt, schließlich ein den Boden und alle Wände des Gefäßes überziehender Hohlsack aus verflochtener Wurzelmasse. Alle diese Wurzeln aber sind, da sie sich mit dem eigentlichen Erdboden gar nicht in Verwachsung befinden, auch für die Erwerbung von Nährstoffen fast ganz bedeutungslos.

Ungünstige Neigung der Bodenoberfläche.

2. Neigung der Bodenoberfläche. Bekanntlich sind nur solche Lagen, deren Bodenoberfläche nicht über 10° zum Horizonte geneigt ist, aus mechanischen Gründen zum sichern Pflanzenbau zuläßig, da bei stärkeren Neigungen durch die Regengüsse, die nicht befestigte Feinerde mit der Zeit zu Thal geführt wird, falls nicht durch kostspielige Terrassierung dies zu vermeiden ist. Die steilen Bodenflächen eignen sich nur für Wiesen und Waldvegetation, weil nur durch die Verankerung der Wurzeln dieser Pflanzen im Felsgestein eine Befestigung der Boden-

[1]) Pflanzenkrankheiten, 2. Aufl. I., pag. 45.

krume erzielt wird. Wo durch vollständige Abholzung solcher Flächen diese Befestigung verloren gegangen ist, da ist die Aufforstung mit großen Schwierigkeiten verknüpft. Daß die Lage einer geneigten Bodenfläche auch nach den Himmelsgegenden wegen der Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse auf die Vegetation Einfluß hat, ist in den Kapiteln, wo von diesen Faktoren die Rede ist, erwähnt worden. Insbesondere ist bei den Einflüssen der Temperatur darauf hingewiesen worden, daß die südlichen und südöstlichen Abdachungen wegen ihrer größeren und längeren Erwärmung in höheren Gebirgsregionen die einzigen, dem Ackerbau noch zugänglichen sein können, daß aber auch anderseits die starken Temperaturschwankungen und die Differenzen zwischen Luft- und Bodentemperaturen, die in diesen Lagen vorkommen, verderblich für die Pflanzen werden können. Auch die stärkere Austrocknung, welcher die nach diesen Himmelsgegenden geneigten Bodenflächen ausgesetzt sind, kann der Vegetation nachteilig werden. Es muß genügen, daß wir hier nur kurz auf diese Faktoren hinweisen, denn eine eingehende Würdigung derselben ist mehr Gegenstand des allgemeinen Pflanzenbaues.

Ungünstige Tiefe der Aussaat.

3. Zu tiefe und zu flache Lage der Saat. Die Erfahrung lehrt, daß in einer gewissen mäßigen Tiefe unter der Oberfläche des Bodens die größte Anzahl der ausgesäeten Samen keimt, daß diese Zahl immer geringer wird, in je tieferen Lagen die Samen ausgelegt waren, und daß in einer ungewöhnlich großen Tiefe überhaupt keine Keimung mehr stattfindet, während auch wieder bei Auslage in der Nähe der Oberfläche des Bodens sehr oft die procentische Zahl der gekeimten Samen sich vermindert. Pflanzen, die aus sehr großer Tiefe noch aufgegangen sind, zeigen sich auch in ihrer ganzen Entwickelung verspätet und schwächer. Um den in Rede stehenden Einfluß zu veranschaulichen, wählen wir hier aus den zahlreichen hierüber gemachten Versuchen einige der von Moreau gewonnenen Resultate, die sich auf Weizen beziehen, von dem je 150 Körner in bestimmten verschiedenen Tiefen in einem und demselben Boden gleichzeitig ausgesäet wurden.

Tiefe der Aussaat.	Zahl der gekeimten Körner.	Zahl der produzierten Aehren.	Zahl der produzierten Körner.	Ertrag
160 mm.	5	53	682	4 fach
135 "	20	174	3818	25 "
120 "	40	400	8000	53 "
95 "	93	992	18534	124 "
65 "	130	1560	34339	229 "
50 "	140	1590	36480	243 "
40 "	142	1660	35825	239 "
25 "	137	1461	35072	234 "
10 "	64	529	10587	71 "
0 "	20	107	1600	11 "

Daraus würde sich ergeben, daß für den Weizen unter den bei dem Versuche gegebenen Verhältnissen die günstigste Tiefe zwischen 50 und 40 mm lag.

Das Unterbleiben der Keimung in sehr großer Tiefe erklärt sich aus dem ungenügenden Zutritt von Sauerstoff, welcher ein Bedürfnis für die Keimung ist, und aus der Anhäufung von Kohlensäure, welche der Keimung nachteilig ist. Wenn in großer Tiefe noch Keimung stattgefunden hat, so vermag doch das Keimpflänzchen häufig das Licht nicht zu erreichen, man findet es bis zu irgend einer Höhe im Boden gewachsen und dann abgestorben. Die Todesursache kann hier eine doppelte sein: entweder hat es wiederum an respirabler Luft gefehlt, oder die aus dem Samen stammenden, zum Wachstum der Keimteile erforderlichen Reservenährstoffe waren erschöpft, bevor der Stengel das Licht erreichen und ergrünen konnte, da ohne Chlorophyll eine Selbsternährung unmöglich ist. Bei Keimpflanzen, deren Kotyledonen über der Erde entfaltet werden, streckt sich bekanntlich das hypokotyle Glied so lange, bis jene über dem Boden erscheinen, während bei Pflanzen mit unterirdisch bleibenden Kotyledonen die auf letztere folgenden Stengelglieder dieses Längenwachstum erleiden, um die Plumula ans Licht zu bringen. Diese Stengelglieder verlängern sich hierbei nach Bedürfnis, denn bei flacherer Saat bleiben sie sehr kurz. Diese Streckungen sind als ein durch den Lichtmangel im Boden bedingtes Etiolement zu betrachten[1]) und also offenbar ein sehr gutes Hilfsmittel für die Keimpflanzen, um sich aus jener ungeeigneten Lage zu befreien. Allein bei sehr tief ausgelegten Samen kann schließlich alles disponible Material des Samens zu diesem Wachstum verwendet sein, ohne daß das Ziel erreicht ist. Aus der starken Erschöpfung der Reservestoffe, die damit verbunden ist, erklärt sich wohl auch genügend die oft lange anhaltende Schwächlichkeit solcher Pflanzen, welche sich beim Keimen aus großer Tiefe heraufgearbeitet haben, und dürfte zu vergleichen sein mit der ähnlichen Erscheinung, welche eintritt, wenn man die Samen nach Wegschneiden der Reservestoffbehälter keimen läßt (s. pag. 119). Dagegen rührt der ungünstige Erfolg bei der Keimung der sehr nahe an der Bodenoberfläche liegenden Samen nur von den ungenügenden Feuchtigkeitsverhältnissen her, welche hier eintreten können. Die Keimwürzelchen an der Oberfläche des Bodens liegender Samen bleiben nur dann am Leben, wenn ihnen ununterbrochen Feuchtigkeit geboten wird, bis das tiefere Eindringen gelungen ist; andernfalls verwelken sie und sterben. Kommt nach dem ersten

---

[1]) Frank in Cohn's Beitr. z. Biol. d. Pfl. II., pag 75.

Verschmachten der Wurzeln bald Feuchtigkeit, so kann das noch lebendige junge Keimstengelchen neue Adventivwurzeln treiben, die dann vielleicht ein besseres oder auch wieder dasselbe Schicksal haben. Überhaupt ist dann die Gefahr nahe, daß der ganze Keim vertrocknet und verdirbt, denn Samen, welche einmal zu keimen begonnen haben, vertragen dann nicht diejenige Austrocknung mehr, welche für ungekeimte schadlos ist. So erklärt sich nicht nur das häufige Fehlschlagen der Keimung, sondern auch die schwächere Entwickelung der Pflanze bei ungenügend tief untergebrachter Saat.

Regeln für Unterbringung der Samen.

Die vorstehenden Erörterungen lassen auch die alte Gärtnerregel berechtigt erscheinen, wonach man große Samen tief, kleine seicht, oder überhaupt jeden Samen wenigstens so tief als sein größter Durchmesser beträgt, unterbringen soll. Allein um die Gefahren einer Periode langer Trockenheit in den oberen Bodenschichten zu vermeiden, die möglicherweise nach der Bestellung eintreten kann, ist es rationeller, die Samen eher etwas zu tief als zu flach auszusäen. Aus dem oben Gesagten ging hervor, daß bei Voraussetzung einer konstanten genügenden Feuchtigkeit an der Oberfläche des Bodens die Aussaat in der obersten Bodenschicht das günstigste Resultat liefern muß, weil sie alle Nachteile einer tieferen Unterbringung vermeidet, daß dagegen bei Eintritt sehr trockener Witterungsverhältnisse diese nämliche Aussaat ein viel schlechteres Resultat liefern wird, als eine größere Tiefe, bei welcher der Schutz vor der Trockenheit den nachteiligen Einfluß der tieferen Versenkung noch überwiegt. Die günstigste Tiefe in diesem Sinne, welche Tietschert[1]) als „rationelle Maximaltiefe" bezeichnet hat, ist von dem Genannten durch vergleichende Versuche ermittelt worden. Selbstverständlich ist dieselbe je nach Bodenarten sehr verschieden, weil diese hinsichtlich der Permeabilität für Luft und der Feuchtigkeitsverhältnisse sich verschieden verhalten. Sie beträgt

	im Sand	im kalkhaltigen Lehm	im Humus	im Thon
für Roggen	10,8 cm	5,4 cm	8 cm	5,4 cm
für Raps	7,3 cm	5,4 cm		3,5 cm

Die Versuche zeigten, daß bei dauernd genügender Feuchtigkeit der oberen Bodenschichten seichtere als die angegebenen Lagen günstigeren Erfolg hatten. Man sieht hieraus, wie besonders auf den leichten Sandböden eine tiefe Aussaat angezeigt ist. Die flache Saat ist nur da angebracht, wo man die Regulierung der Feuchtigkeitsverhältnisse in der Hand hat.

---

[1]) Keimungsversuche mit Roggen &c. Halle 1872.

Verschüttung. Zu tiefes Pflanzen.

4. Verschüttung und Tiefpflanzung. Pflanzenteile, welche an der Luft zu wachsen bestimmt sind, dürfen im allgemeinen nicht mit Erde bedeckt sein, wenn sie nicht erkranken und sterben sollen. Selbstverständlich ist solches für kleinere, zartere Pflanzen besonders verderblich, aber auch für die meisten Holzpflanzen gefährlich. Solche Fälle treten ein z. B. an steilen Lagen bei Erdabwaschungen infolge starker Regengüsse, oder wenn mit Bäumen bestandenes unebenes Terrain planiert werden ist, wobei Bodenaufschüttungen um die Stämme vorgenommen wurden. Die meisten Gehölze vertragen letzteres schwer und gehen danach bald oder doch nach längerem Kränkeln ein. Dasselbe geschieht, wenn Holzpflanzen beim Versetzen zu tief eingepflanzt werden. Ungleich weniger empfindlich dagegen sind diejenigen Pflanzen, an deren natürlichen Standorten solche Bodenveränderungen etwas Häufiges sind, wie die Pflanzen der Dünen und der Flußufer, als Weiden, Pappeln, Hippophaë rhamnoides, welche auch aus völliger Verschüttung wieder hervorzuwachsen vermögen. Die Ursache dieser Beschädigungen wird in einem Ersticken der Wurzeln infolge mangelhaften Zutritts sauerstoffhaltiger Luft gesucht, weil die Wurzeln zu tief unter der Bodenoberfläche zu liegen kommen, denn in der That sind gerade die meisten der feineren Saugwurzeln der Bäume in der oberen Bodenschicht entwickelt. Die Widerstandsfähigkeit der genannten Uferpflanzen erklärt man aus der Leichtigkeit, mit welcher gerade diese Pflanzen an jedem beliebigen Teile ihrer Holzaxen eine lebhafte Bildung von Adventivwurzeln eintreten lassen können; in der That bilden sie nach Übererdung bald neue Wurzeln in dem aufgeschütteten Boden. Am größten ist natürlich die Gefahr einer zu tiefen Pflanzung in schwerem, dauernd wasserreichem Boden. Wie die einzelnen Gehölzarten in dieser Beziehung ungleich empfindlich sind und demgemäß ein tieferes oder flacheres Pflanzen erfordern, ist von Bouché[1]) behandelt worden.

3. Kapitel.

Ungünstige physikalische Beschaffenheiten des Erdbodens.

Der den Pflanzen zusagende Festigkeitsgrad des Erdbodens.

1. Zu große und zu geringe Festigkeit des Erdbodens. Die Wurzeln aller Landpflanzen bedürfen eines eigentlichen Erdbodens. Denn auf nacktem Gestein oder Mauerwerk können Pflanzenwurzeln nur dann eindringen und sich befestigen, wenn Spalten, die solches ermöglichen, vorhanden sind. Nur Flechten und Moose vermögen auf nackten Steinen sich festzusetzen, indem sie in den Unebenheiten der

---

[1]) Über das Tiefflanzen von Bäumen. Monatsschr. d. Ver. z. Beförd. des Gartenbaus 1880, pag. 212.

Oberfläche sich ansiedeln und mit ihren das Gestein korrodierenden Rhizinen in dessen Substanz sich einnisten, wodurch sie Veranlassung geben zur ersten Bildung einer dünnen Schicht von Humus und Verwitterungsprodukten des Gesteins, auf welchen dann immer größere Pflanzen sich ansiedeln können.

Krustierende Böden. Flugsand.

Aber auch im Erdboden selbst kann der Zusammenhang der einzelnen Bodengemengteile sehr ungleich sein und daher der Boden hinsichtlich seiner Festigkeit große Verschiedenheiten zeigen, die in ihren äußersten Extremen ebenfalls ein mechanisches Hindernis für die Vegetation darstellen. Auf der einen Seite stehen hier die krustierenden Böden, was sich mehr oder weniger von allen thonreichen Bodenarten sagen läßt: sie bildem beim Austrocknen, also an ihrer Oberfläche, eine kompakte, steinharte, in Sprüngen zerklüftende Masse, weil alle Gemengteile eines solchen Bodens durch die Thonteilchen desselben zusammengekittet werden. Ein Boden in diesem Zustande verhindert das Eindringen der Wurzeln und das Hervortreten der Keime; er kann auch vielfach Zerreißungen der im Bereiche der Krustenbildung befindlichen dünnen Wurzeln zur Folge haben. Erdböden, welche im feuchten wie im trockenen Zustande eine krümelige Beschaffenheit, also die der Pflanze günstige Lockerheit behalten, lassen diese Beschädigungen nicht befürchten. Aber die Festigkeit kann auch einen so geringen Grad zeigen, daß nun aus einem andern Grunde die Vegetation vereitelt wird. Es gilt dies von der lockersten Form der Sandböden, die unter dem Namen Flugsand in manchen Gegenden des norddeutschen Tieflandes und auf den Dünen am Seestrande bekannt ist, weil sie im trockenen Zustande so vollständig ohne Zusammenhang ist, daß sie vom Winde fortgeweht wird, wodurch also an der einen Stelle die Samenkörner aus der Erde geweht oder die jungen Pflanzen entwurzelt, an andern Stellen Pflanzen versandet werden. Zur Befestigung des Flugsandes dienen bekanntlich Ansaaten von Sandgräsern, wie Elymus arenarius, Arundo arenaria und baltica, Carex arenaria, weil diese durch ihre schnelle Bildung von Wurzeln und Ausläufern die Oberfläche zusammen halten, so daß Aufforstungen mit Kiefern möglich werden. Zur Sandbefestigung eignen sich auch von Holzpflanzen Hippophaë rhamnoides, Ulex europaeus, Robinia Pseudacacia.

2. Ungenügende Durchlüftung des Erdbodens.

Die Pflanzen bedürfen des Luftwechsels im Erdboden.

Der Erdboden muß in einem gewissen Grade dem Luftwechsel zugänglich sein, wenn in ihm Samen keimen und Wurzeln leben sollen, weil alle lebenden Pflanzenteile Sauerstoff zur Atmung bedürfen. In einem Boden, in welchem der von den Wurzeln verzehrte Sauerstoff

nicht durch Luftzutritt wieder ersetzt wird, und die entstandene Kohlensäure nicht entweichen kann, müssen jene absterben, ersticken, wie wir es mit Rücksicht auf die Todesursache bezeichnen können. Daß Samen durch längere Bedeckung mit Wasser ersticken und dadurch ihre Keimfähigkeit verlieren, ist aus den Versuchen von Zöbl[1]) ersichtlich, wonach Gerste nach 6, Roggen nach 9—10 Tagen die Keimkraft eingebüßt hatten, während von Rüben nach 69 tägigem Aufenthalt in Wasser noch fast 50 Prozent keimten. Die Schädlichkeit des Sauerstoffmangels und der Ansammlung von Kohlensäure für die Wurzeln wird durch einen Versuch W. Wolff's[2]) bewiesen, nach welchem Pflanzen, die man in kohlensäurereichem Wasser kultiviert, zu assimilieren aufhören und welk werden, sich aber wieder erholen, wenn sie in destilliertes Wasser gesetzt werden. Wir stellen hierher eine Reihe von Krankheitserscheinungen, von denen einige unbestritten durch mangelhaften Zutritt von Sauerstoff verursacht werden, bei andern dieses zwar nur hypothetisch, aber mit größter Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist. Zuvörderst sind aber die Umstände anzugeben, unter welchen eine solche ungenügende Durchlüftung des Bodens eintreten muß. Denn nicht bloß in großer Tiefe unter der Oberfläche ist bei jedem Boden, wie wir oben (S. 252) gesehen haben, mangelhafter Luftzutritt zu erwarten, sondern es kann eben auch durch physikalische Beschaffenheiten der Erdböden dieser Fall eintreten. Alles, was die Porosität des Bodens aufhebt, was das Verschwinden der zwischen den Bodenteilchen befindlichen Zwischenräume oder der in diesen Poren enthaltenen Luft bedingt, hat jene Pflanzenbeschädigungen zur Folge. Dieser Zustand wird nun hauptsächlich durch **stagnierende Nässe des Bodens** herbeigeführt. Das in der Erdkrume enthaltene Wasser ist durch Kapillarkräfte in derselben festgehalten, indem die kleinen, festen Teilchen, aus denen der Boden besteht, kleine Räume zwischen sich lassen, in welchen Flüssigkeiten kapillar angezogen werden, so daß jedes Bodenpartikel von einer kleinen Wasserhülle umgeben ist, deren Dicke je nach dem Feuchtigkeitsgrade größer oder geringer ist. In einem Boden, den wir als trocken oder mäßig feucht bezeichnen, sind die Lücken zwischen den Bodenteilchen nicht völlig von Wasser erfüllt, sondern lufthaltig, und die Luftkanälchen stehen mit der Luft über der Bodenoberfläche in Kommunikation. Wurzeln, die in solchem Boden wachsen, befinden sich samt ihren Wurzelhaaren im Kontakt sowohl mit den von Wasserhüllen umgebenen Erdkrümchen,

---

[1]) Wie lange behalten die Pflanzensamen im Wasser ihre Keimfähigkeit. Wissensch. prakt. Untersuch. v. Haberland. Bd. I.

[2]) Tageblatt d. 45. Naturf.-Versamml. zu Leipzig 1872, pag. 209.

als auch mit den lufthaltigen Kapillaren. Wird dem Boden immer mehr Wasser zugesetzt, so werden die Wasserhüllen um die festen Teilchen dicker, die Kapillaren immer mehr mit Wasser angefüllt, und es tritt endlich der Punkt ein, wo der Boden mit Wasser gesättigt ist, d. h. wo er nicht im stande ist, noch weiter zugesetzte Flüssigkeit durch Kapillar-Attraktion festzuhalten. Diesen Punkt erkennt man daran, daß die Erde (z. B. in Blumentöpfen) unten soviel Wasser abfließen läßt, als ihr oben beim langsamen Begießen zugesetzt wird. Im freien Lande hat der Boden diese letztere Beschaffenheit an allen dauernd feuchten Stellen, besonders wo stagnierende Nässe herrscht. In jedem Boden, dessen Poren in dieser Weise mit Wasser verstopft sind, ist die Bewegung der Luft in hohem Grade erschwert. Auch von der Menge und Größe seiner Poren muß die Durchlässigkeit des Bodens für Luft abhängig sein. Hier stehen auf der einen Seite die lockeren, grobkörnigen Sandböden als diejenigen, welche die Luftbewegung am meisten begünstigen, da sie sogar bei zeitweiliger Erfüllung mit Wasser dieses bald wieder durch ihre großen Poren abfließen oder verdunsten lassen. Im Gegensatz dazu zeichnen sich die Lehm- und Thonböden und auch manche äußerst feinkörnige, dichte und feste Sandschichten wegen ihrer sehr geringen Porosität und großen Festigkeit durch eine geringere Durchlässigkeit für Luft aus, die im feuchten Zustande noch mehr vermindert wird, weil die kleinen Poren sich durch Wasser schnell erfüllen und dieses mit großer Kraft in sich festhalten. Wie in der That die Durchlässigkeit des Bodens für Luft mit der Dicke der Bodenschicht sich vermindert und wie überaus ungleich sie ist nach der Bodenart, wird durch die Versuche von Renk[1]) und von Ammon[2]) veranschaulicht. So ging z. B. bei 40 mm Wasserdruck durch eine 50 cm hohe Bodenschicht in einer Stunde Luft in Liter.

bei Quarzsand	bis	0,25 mm	Korngröße	16,80 l
„ „	von	0,25—0,50 mm	„	41,04 l
„ „	„	0,50—1,00 mm	„	92,24 l
„ „	„	1,00—2,00 mm	„	287,75 l
„ Kalksand	bis	0,25 mm	„	4,24 l
„ Lehm, pulverförmig				1,62 l
„ „ gekrümelt,	von	0,25—0,50 mm	Korngröße	30,90 l

[1]) Jahresbericht f. Agrikulturchemie 1879, pag. 38.

[2]) Untersuchungen über die Permeabilität des Bodens für Luft. Forschungen auf dem Gebiete d. Agrikulturphysik 1880. 3. Heft.

Daraus erklärt sich auch, daß, wie Wollny[1]) gezeigt hat, der Gehalt des Bodens an freier Kohlensäure um so größer ist, je feiner pulverförmig seine Gemengteile sind, ferner je mehr der Wassergehalt des Bodens steigt; auch Erhöhung der Temperatur bis zu einer gewissen Grenze bewirkt Steigerung des Kohlensäuregehaltes des Bodens.

Sumpfpflanzen.

Nur die auf sumpfigen Standorten wachsenden Pflanzen ertragen die soeben charakterisierte vollständige Sättigung des Bodens mit Wasser ohne Schaden, ja für sie ist sogar eine solche Bodenbeschaffenheit Bedingung, denn die auf solche Standorte angewiesenen Arten von Gräsern und Halbgräsern zeigen auffallend geringe Entwickelung, spärlichere, kürzere und kümmerliche Triebe, wenn der Boden, in welchem sie stehen, jenen Feuchtigkeitsgrad eingebüßt hat.

Empfindlichkeit der Pflanzen des trockneren Bodens.

Für alle diejenigen Landpflanzen aber, welche nicht eigentlich nasse Standorte haben, ist eine Überfüllung des Bodens mit Wasser schädlich. Insbesondere gilt dies von solchen Pflanzen, deren Wurzeln sich bereits in einem ziemlich trockenen Erdreich entwickelt hatten. Die infolgedessen eintretende Verderbnis der Wurzeln läßt sich allgemein passend als Wurzelfäule bezeichnen; das Kränkeln und schließliche Absterben der Pflanze infolge dieses Wurzeltodes kann nun unter verschiedenen Symptomen sich zeigen und je nach den begleitenden Umständen werden diese Beschädigungen in der Praxis mit verschiedenen Ausdrücken bezeichnet, sie fallen aber eben ursächlich alle unter denselben Gesichtspunkt.

Aussauern der Saaten.

Als Aussauern der Saaten bezeichnet man die Erscheinung beim Ackerbau, wenn der Boden durch ungewöhnlich lange und reichliche Niederschläge oder durch seine Lage in Flußauen oder in der Nähe stagnierender Gewässer bis an die Oberfläche oder auch nur in tieferen, von den Wurzeln erreichten Schichten andauernd naß bleibt. Eine gewisse Zeit können allerdings die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen eine solche schädliche Nässe aushalten; bei Getreide hat man beobachtet, daß dies sogar einige Wochen lang möglich ist, die Pflanzen erholen sich dann wieder, wenn normale Verhältnisse wiederkehren. Es erklärt sich dies aus den folgenden Beobachtungen über die Anstrengungen der Pflanze, in solchem Falle in der Nähe der Bodenoberfläche immer wieder neue Wurzeln zu erzeugen. Während die Pflanzen bis dahin nichts Krankhaftes zeigen, werden sie, wenn der Boden diese Beschaffenheit annimmt, in allen Teilen welk, dann schwarz oder gelb, überhaupt so verfärbt, wie es die betreffende Spezies im abgestorbenen Zustande zu zeigen pflegt, und endlich dürr; manche Pflanzen werfen auch vorher ihre Blätter ab. Die kranken Pflanzen lassen sich oft leicht aus der Erde ziehen und man bemerkt dann, daß ihr Wurzelsystem bereits abgestorben war und daß darin die nächste Ursache des Welkens und Absterbens der oberirdischen Teile lag. Den Prozeß dieser Krankheit

---

[1]) Untersuchungen über den Einfluß der physik. Eigensch. des Bodens auf dessen Gehalt an freier Kohlensäure. Daselbst 1881. 4. Heft.

verfolgte ich an einer Aussaat von **Vicia Faba** und **Lathyrus Ochrus**, die sich in der Nähe eines größeren Teiches in ziemlich niedriger Lage befand, wo die Wurzeln bald die wasserreiche Bodenschicht erreichten. Die krankhaften Symptome an den oberirdischen Teilen wurden bemerkbar, als die Pflanzen eben erst Blütenknospen zu zeigen begannen. Der Wurzelkörper ist dann zum größten Teil abgestorben; die Hauptwurzel im unteren Teile dürr und schwarz oder braun, die meisten Seitenwurzeln ebenfalls. Das Absterben der Gewebe beginnt in der Epidermis und schreitet successiv in die tieferen Schichten des Parenchyms fort, bei **Vicia Faba** unter Auftreten eines purpurbraunen Farbstoffes in den Zellmembranen. An den von mir untersuchten Wurzeln der durch Aussauern getöteten **Vicia Faba** befanden sich eine Menge Wunden, veranlaßt durch das Aufspringen und die abnormen, schwammigen Gewebewucherungen des Parenchyms, welche häufig auftreten, wenn Wurzeln von Landpflanzen im Wasser oder in sehr nassem Boden wachsen. Dieselbe Erscheinung wird auch an holzigen Pflanzenteilen, wenn diese im Wasser stehen, beobachtet. Es ist nicht unmöglich, daß auf die Dauer auch schon solche Wunden für die Wurzel schädlich werden. Im Parenchym der abgestorbenen Wurzelteile fand ich nicht selten Fäden eines Pilzmyceliums von ungleicher Dicke, stellenweise mit Querscheidewänden und spärlich verzweigt, sowohl zwischen den Zellen als auch quer durch den Innenraum derselben wachsend. Sie werden nicht in allen kranken Wurzeln und auch dort, wo sie vorkommen, nur zufällig an einzelnen Stellen angetroffen; mit fortschreitender Fäulnis nimmt dieses Mycelium an Entwickelung zu. Es handelt sich daher hier nicht um parasitäre Einflüsse, sondern um einen saprophyten Pilz, der sich stellenweis an den abgestorbenen Teilen ansiedelt. Da der Tod an jedem Teile der Wurzel immer erst eintritt, wenn der schädliche Einfluß des nassen Bodens eine Zeit lang auf denselben eingewirkt hat, so sind die Spitzen der Seitenwurzeln vielfach allein noch lebendig, weiß und frisch. Dadurch ist einigermaßen noch Aufsaugung möglich, und die Holzbündel der kranken Wurzelteile gestatten wenigstens noch eine Wasserströmung, so daß dann die oberirdischen Teile nicht sogleich sterben, sondern noch eine Zeit lang lebendig erhalten werden können. Die Blätter sterben dann von unten an in der Folge ihres Alters ab; die obersten, jüngsten bleiben am längsten am Leben. Vor dem Tode sucht die Pflanze eine Anzahl neuer Seitenwurzeln besonders aus dem oberen noch saftigen und lebendigen Teile der Pfahlwurzel und selbst aus dem nahe der Bodenoberfläche befindlichen gesunden Stengelstücke zu treiben; doch auch diese Wurzeln verfallen dem nämlichen Schicksal, sobald sie tiefer in den Boden eingedrungen sind, was dann erneute Anstrengungen der Pflanzen, sich zu bewurzeln, zur Folge hat. Bei diesem Kampfe kann wenigstens eine kümmerliche Entwickelung der oberirdischen Teile, selbst Blüten- und geringe Fruchtbildung ermöglicht werden.

Ausfaulen der Wintersaaten.

Denselben Einfluß auf die im Boden befindlichen Pflanzenteile kann auch die Eiskruste haben, die sich bisweilen im Frühjahre auf dem Schnee bildet infolge von Auftauen und Wiedergefrieren; sie verursacht ebenfalls ein A u s f a u l e n d e r S a a t e n.

Faulen ausgesäeter Samen.

Hieran reiht sich auch die bekannte Verderbnis, welche häufig Samen erleiden, die in übermäßig feuchten Boden ausgesäet worden sind: anstatt zu keimen, faulen sie; große Samen, wie Bohnen u. dergl., verwandeln sich dabei in eine stinkende, jauchige Masse.

17*

Versauern der Topfgewächse.

Das Versauern der Topfgewächse beruht auf derselben Ursache. Es tritt ein, wenn das Abzugsloch des Blumentopfes verstopft ist oder das Begießen übermäßig erfolgt, besonders bei lehmigen oder moorigen Erden. Wegen des Sauerstoffmangels infolge der Erfüllung der Bodenräume mit Wasser unterliegen die organischen Reste der humushaltigen Erdböden einem andern Zersetzungsprozesse als bei reichlicherem Sauerstoffzutritte; es entstehen gewisse Humussäuren, weshalb ein solcher Boden auch einen eigentümlichen Geruch annimmt. Diese sauren Humuskörper sind vielleicht auch direkt für die Wurzeln schädlich.

Wurzelfäule der Bäume.

Auch an Bäumen kommt nach R. Hartig[1]) unter ähnlichen Bodenverhältnissen, wie die vorgenannten, eine Wurzelfäule vor, und zwar hauptsächlich an Kiefern in Beständen der norddeutschen Tiefebene. Die von dieser Krankheit befallenen Bäume zeigen oft keine Veränderung in der Benadelung, fallen aber bei starkem Wind oder Schneeanhang um und zeigen dann nur die in die Tiefe gehende Pfahlwurzel völlig abgefault, während die flach unter der Bodenoberfläche verlaufende Bewurzelung gesund geblieben ist. Die verfaulten Spitzen der Pfahlwurzel und der tiefergehenden Seitenwurzeln bleiben im Boden stecken; soweit sie mit herausgezogen werden, sind sie völlig zerfasert und hellgelbbraun. Die Krone des Baumes verrät das Leiden nur durch eine etwas kürzere Triebbildung der letzten Jahre. In andern Fällen aber macht sich die Krankheit am stehenden Baume durch Kränkeln der Krone, durch die Kürze der Triebe und Nadeln bemerklich; werden solche Bäume ausgerodet, so findet man die Pfahlwurzel an der Spitze abgefault und bis in den Stock hinauf verharzt, wodurch die Säfteleitung aus den Seitenwurzeln in den Stamm beeinträchtigt wird. Von der ähnlichen Beschädigung durch gewisse unterirdische parasitische Pilze unterscheidet sich die Krankheit nach R. Hartig darin, daß die Bäume nicht vertrocknen, sondern nach dem Abfaulen der Wurzeln lebend umfallen, die flachstreichenden Wurzeln aber gesund bleiben und keine äußerlich erkennbare Mycelbildungen zeigen. Nur in den durch die Fäulnis schon getöteten Kiefernwurzeln hat R. Hartig verschiedene saprophyte Pilze, unter andern auch den **Xenodochus liquiperda** *Willk.* gefunden, die also erst sekundär auftreten und in keiner ursächlichen Beziehung zur Wurzelfäule stehen. Die Krankheit tritt mit dem 20- bis 30jährigen Alter auf und verbreitet sich nicht von einem Punkte aus im Laufe der Jahre weiter, sondern beginnt gleichzeitig über ganzen Beständen oder größeren Plätzen in denselben; das Umfallen erfolgt bald hier bald da und hat ein allgemeines Lückigwerden des Bestandes zur Folge. Aus den zahlreichen von R. Hartig vorgenommenen Untersuchungen hat sich ergeben, daß in allen Fällen in einer gewissen Bodentiefe sich eine Schicht befand, die sich dadurch auszeichnete, daß sie den Luftwechsel zwar nicht völlig ausschloß, demselben aber in hohem Maße hinderlich war, und daß sie das Eindringen der Pfahlwurzel in der Jugend gestattet hatte, aber in einem gewissen Alter des Bestandes den Tod dieser Wurzeln herbeiführte. Oft trat stagnierende Nässe in einer gewissen Bodenschicht auf. Sehr häufig war ein schwerer, thonreicher Lehmboden, der in der norddeutschen Tiefebene oft nesterweise oder über größere Flächen verbreitet mitten in tiefgründigem Sandboden auftritt; und es zeigte sich, daß die Wurzelfäule genau so weit

[1]) Zersetzungserscheinungen des Holzes. Berlin 1878, pag. 75 ff.

ging, wie der Lehmboden reichte, während auf dem reinen tiefgründigen Sand die Bewurzelung völlig gesund war. Auch hat R. Hartig den sehr häufig auftretenden äußerst festen und feinkörnigen, Quarzmehl genannten Sand, ferner dichte Steinlager von Granitfindlingen, dichten Bauschutt und andre undurchlassende Bodenschichten bei Wurzelfäule von Kiefern vorgefunden. An andern Nadelbäumen, die eine weniger tief gehende Pfahlwurzel haben, zeigte sich die Erscheinung in weit geringerem Grade.

Auch bei Laubhölzern, besonders bei Obstbäumen, kommen auf festem, undurchlässigen Bodenarten Erkrankungen vor, die sich meist dadurch bemerkbar machen, daß die Pflanzen schwächliche Triebe bilden und gelbe Blätter haben, und daß sie nach und nach dem Absterben verfallen. Eine nähere Prüfung der Wurzeln zeigt dann gewöhnlich eine mehr oder minder starke Wurzelfäulnis als die nächste Ursache des Leidens. Freilich kommen an allerlei Laubholzgewächsen, sowie am Weinstock, vielfach Erscheinungen von Gelbsucht der Blätter vor, wohl auch verbunden mit Wurzelerkrankungen, ohne daß man sogleich berechtigt wäre, die Ursache in einer ungünstigen physikalischen Beschaffenheit des Erdbodens zu suchen. Auch manche andre Faktoren können Erkrankungen mit gleichen Symptomen veranlassen, und es sind immer die jeweils gegebenen Umstände näher zu prüfen, um den wirklich schädlichen Faktor ausfindig zu machen.

Bäume leiden bei Versumpfung des Bodens.

Bei Bäumen kann auch Versumpfung des Bodens die Zufuhr sauerstoffhaltiger Luft zu den Wurzeln erschweren und zu Wurzelfäule oder doch zu einer Störung der Wurzelthätigkeit Veranlassung geben, die ein Kränkeln oder krüppelhaften Wuchs der Bäume zur Folge hat. Versumpfung muß eintreten, wo ein beständiger Zufluß von Wasser stattfindet und wegen der Lage des Terrains der horizontale Abfluß erschwert und auch ein vertikaler Abfluß verhindert ist, also besonders da, wo sich aus eben diesem Grunde Moorsümpfe gebildet haben. Die einzelnen Baumspezies sind ungleich empfindlich gegen solche Bodenverhältnisse. Die Erlen, Pappeln und Weiden vertragen dies noch am besten; die meisten andern Gehölze leiden darunter im höchsten Grade. Im norddeutschen Tieflande ist das Verhalten der gemeinen Kiefer in dieser Beziehung äußerst lehrreich. Wo die Sandflächen, auf denen dieser Baum sehr gut gedeiht, unterbrochen sind durch breitere Mulden, in denen Fließe oder Wasseransammlungen zur Moorbildung Veranlassung geben, da sind die Kiefern bis zum Rande des Moores gesund und hochwüchsig, aber wie abgeschnitten erscheinen die gleichaltrigen Bäume auf der Moorfläche niedrig und krüppelig; sie bilden hier Bestände, die im Aussehen etwa an die Vegetation der Sumpfkiefer (*Pinus pumilio*) in den höheren Gebirgsregionen erinnern, und die auch nach vielen Jahren dieses Aussehen nicht verändern und keinen bemerkbaren Zuwachs erkennen lassen.

Verhütung der Wurzelfäule.

Behufs Verhütung der Wurzelfäule werden alle diejenigen Maßregeln in Betracht kommen, durch welche der Faktor, der im gegebenen Falle die ungenügende Durchlüftung des Bodens bedingt, beseitigt wird. Bei den Kulturen im großen wird also in erster Linie die geeignete Drainage vorzunehmen sein überall da, wo übermäßige Nässe vorhanden ist. Bezüglich des vorteilhaften Einflusses der Drainierung feuchten Ackerbodens auf die Entwickelung und Produktion der Kulturpflanzen

kann hier füglich auf die Lehrbücher des Pflanzenbaues verwiesen werden. Wo es sich um einen zu festen, undurchlässigen Boden handelt, wird die geeignete Lockerung vorzunehmen sein, die durch Umbrechen im Herbste und Liegenlassen des Bodens in rauher Furche während des Winters, außerdem auch durch Behacken oder Aufeggen, unter Umständen auch durch Kalken und Mergeln des Bodens zu erzielen ist. Bei Topfkulturen wird besonders das übermäßige Begießen zu vermeiden sein; man gebe den Pflanzen nur nach Bedarf Wasser; es richtet sich dies nach dem größeren oder geringeren Wasserbedarf der einzelnen Pflanzen, der von ihrer Transpirationsgröße abhängig ist; am leichtesten läßt sich erkennen, ob die Topfpflanze begossen werden muß, durch Befühlen des Bodens, je nachdem er trocken oder feucht sich anfühlt, und durch Anklopfen an den Topf, indem derselbe hohl klingt, wenn es ihm an Wasser fehlt, dagegen den Ton eines massiven Körpers giebt, wenn er noch genügend Wasser enthält.

---

4. Kapitel.

Ungünstige Zusammensetzung des Bodens.

A. Der Wassermangel.

Bedeutung des Wassers für die Pflanze.

Wasser ist für alle Pflanzen unentbehrlich. Den Landpflanzen wird dasselbe durch den Erdboden, der die Pflanzen trägt, unmittelbar geliefert, und dieser empfängt es teils durch die Niederschläge, teils durch seitlichen Zufluß, teils aus dem Untergrunde. Böden, die keinen seitlichen Zufluß erhalten, trocknen beim Ausbleiben der Niederschläge, allmählich von der Oberfläche aus in immer tieferen Schichten aus. In einem Boden, der bis zu einem gewissen Grade ausgetrocknet ist, ist daher weder eine Keimung von Samen, noch eine Erwerbung genügenden Wassers durch die Wurzeln möglich, so daß also der Wasserverlust, den die Pflanzen durch die Verdunstung der Blätter an der Luft erleidet, nicht mehr ersetzt werden kann und auch die Zufuhr von Nährstoffen aus dem Boden mangelhaft wird, weil die Pflanze diese Stoffe nur im wassergelösten Zustande, also mit Hilfe von Wasser erwerben kann. Es werden also verschiedenartige Krankheitserscheinungen zu erwarten sein, je nach der Entwickelungsperiode der Pflanze, in welcher die Trockenheit eintritt, sowie nach dem Grade und der Dauer der letzteren, aber auch nach dem spezifisch sehr ungleichen Wasserbedürfnis und Wasserhaushalt der einzelnen Pflanzenarten.

Keimung wird durch Trockenheit des Bodens gestört.

1. Störung der Keimung. Ohne Anwesenheit tropfbar flüssigen Wassers keimen Samen nicht; denn das in Dampfform in der Luft

enthaltene Wasser genügt dazu nicht. Hat die Keimung einmal begonnen und ist bis zum Hervortreten der ersten Keimteile fortgeschritten, so ist eine Austrocknung der Keimpflänzchen von schädlichem Einflusse auf die Organe derselben und auf den weiteren Fortgang des Keimprozesses. Die aus den Samen hervorgetretenen Wurzeln sterben dann ab, und wenn bereits die Plumula sich zu entwickeln begonnen hat, so findet bei erneuter Wasserzufuhr eine Wiedererweckung der Keimkraft statt. Bei Monokotyledonen bilden sich aus dem ersten Knoten, bei Dikotyledonen, welche durch das Austrocknen die Pfahlwurzeln verlieren, aus dem hypokotylen Gliede rasch neue Adventivwurzeln, und die jüngeren Blätter der Plumula entwickeln sich. Novaczek[1]) hat keimende Samen wiederholt bei 15—20° C. ausgetrocknet, nachdem jedesmal durch Wasserzufuhr der Keimprozeß wieder begonnen hatte und neue Wurzeln gebildet waren, und hat dies mehrere Male wiederholen müssen, ehe an allen Versuchspflanzen die Entwickelungsfähigkeit aufhörte. Am widerstandsfähigsten gegen die Dürre zeigte sich die Keimung des Hafers, nächstdem Gerste, Weizen und Mais; eher starben Raps, Lein, Klee, Erbsen. Aus den Versuchen von Will[2]) ergiebt sich, daß die Keimpflanzen um so mehr leiden, je weiter der Keimungsprozeß fortgeschritten, namentlich je weiter die Plumula entwickelt ist zur Zeit, wo die Trockenperiode eintritt; bei Erbsensamen traten, wenn in sehr später Periode noch Austrocknung stattfand, sogar Fäulniserscheinungen ein, die von den abgetrockneten Wurzeln ausgingen und oft die Keimlinge töteten. Diese Erscheinung kommt an den Saaten vor, wenn die Samen nicht genügend tief untergebracht sind oder ganz oberflächlich liegen, und nach der Bestellung andauernd trockenes Wetter herrscht. Man vergleiche das oben (S. 253) über die rationelle Tiefe der Unterbringung des Saatgutes Mitgeteilte. Aus dem Gesagten erhellt auch, daß es unvorteilhaft ist, vorher angequollenes oder gar schon ausgewachsenes und nachher wieder trocken gewordenes Saatgut zu benutzen.

Welken. Das Wesen desselben

2. Welken. Wenn eine im Boden eingewurzelte Pflanze nicht so viel Wasser aus dem Boden aufzunehmen vermag, als sie in derselben Zeit durch Transpiration der außerhalb des Bodens befindlichen Teile Wasser in Dampfform verliert, so vermindert sich ihr Wassergehalt. Die Folge ist, daß die Zellen der saftreicheren Gewebe ihren Turgor verlieren und somit eine Erschlaffung des ganzen Pflanzenteiles ein-

---

[1]) Referiert in Biedermann's Centralbl. f. Agrikulturchemie 1876, I., pag. 344.

[2]) Landwirtsch. Versuchsstationen XXVIII. 1882. Heft 1 u. 2.

tritt, welcher eben als welker Zustand allgemein bekannt ist. Am auffallendsten wird diese Erschlaffung an solchen Pflanzenteilen, deren meiste Zellen saftreichen Inhalt, dünne, zarte Membranen haben und zugleich stark transpirieren. Denn hier ist der Turgor der Zellen vorwiegend die Ursache der Straffheit der Blätter und Internodien. Pflanzenteile dagegen, welche aus überwiegend festeren und härteren Geweben (stark entwickelter Cuticula, kräftigem Hypoderm, vielen oder starken Fibrovasalsträngen) bestehen, zeigen keine so deutliche Erschlaffung bei großem Wasserverluste, weil die Beschaffenheit der genannten Gewebe den Teilen ihre Steifheit erhält; solche Pflanzen können ganz vertrocknen ohne eigentliche Welkungserscheinungen. Langgestreckte Internodien sieht man gewöhnlich in einem unmittelbar unterhalb des oberen Endes gelegenen Stücke am stärksten erschlaffen und sich umneigen, wie es Sprosse mit gegen- oder quirlständiger Blattstellung sowie die langen Stiele von Blüten oder Blütenköpfen häufig zeigen. Dies hat seinen Grund darin, daß in der bezeichneten Region das Wachstums am längsten andauert, die Gewebe also dort noch in dem erwähnten weichen Zustande sich befinden, und die härteren mechanischen Gewebe nur erst unvollständig ausgebildet sind.

Ungleiche Neigung der Pflanzen zum Welkwerden.

Bei einem und demselben Feuchtigkeitsgehalte des Erdbodens und der Luft zeigen die verschiedenen Pflanzen keineswegs gleiche Empfindlichkeit hinsichtlich des Welkwerdens. Es kann hier nur ganz kurz auf die in der Pflanzenphysiologie näher behandelten Verhältnisse eingegangen werden, von welchen die Wassererwerbung, die Aufsammlung von Wasser und die Wasserabgabe der Pflanzen durch Transpiration bedingt sind. Je schwächer relativ das Wurzelsystem entwickelt ist, desto schneller wird bei lebhafter Transpiration unter sonst gleichen Umständen Welken eintreten müssen. Daher widerstehen diejenigen Kräuter, die nur wenige, kurze, in der oberen Bodenschicht entwickelte Wurzeln besitzen, der Bodendürre weniger lange als solche, welche mit einem weit und tief im Boden sich erstreckenden System unterirdischer Organe ausgerüstet sind. Und Pflanzen, deren Wurzeln mechanisch beschädigt oder zerstört sind (nach dem Versetzen) oder durch irgend eine Erkrankung gelitten haben oder infolge andrer ungünstiger physikalischer Einflüsse, z. B. wegen zu niederer Temperatur des Bodens funktionslos sind, welken sogar schon bei günstigen Feuchtigkeitsverhältnissen des Bodens, woraus sich ergiebt, daß Welkwerden auch das Symptom vielerlei andrer schädlicher Einwirkungen sein kann, die an dieser Stelle nicht zu erörtern sind. Zweitens hält die Pflanze eine Bodendürre um so länger aus, einen je stärker entwickelten Holzkörper sie besitzt, weil dieser als der eigentliche Weg der Wasserströmung in der Pflanze zugleich ein Reser-

voir von Wasser darstellt, welches am größten bei den mit einem mächtigen Holzcylinder versehenen Bäumen ist, bei denen die Blätter längere Zeit ihren Verdunstungsverlust aus diesem ersetzen können. Darum sieht man, wenn die Kräuter vor Trockenheit zu welken beginnen, an den Sträuchern und Bäumen noch nichts davon, und es bedarf einer längeren Dürre, ehe das Laub dieser Pflanzen anfängt welk zu werden. Endlich drittens ist die Intensität der Verdunstung, d. h. die Wassermenge, welche von einem gleichen Flächenstücke eines Blattes, unter gleichen äußeren Bedingungen, in gleichen Zeiten transpiriert wird, bei den einzelnen Pflanzenarten im höchsten Grade verschieden. Dies hat natürlich zur Folge, daß die verschiedenen Pflanzenarten einer und derselben Trockenheit sehr ungleich widerstehen. Pflanzen mit dünnen, weichen, kahlen Blättern verdunsten am rascheften und welken daher am schnellsten. Schwächer ist die Transpiration derjenigen Pflanzen, welche immergrüne, feste, mit einer starken Cuticula überzogene Blätter besitzen, was überhaupt für alle Pflanzenteile gilt, welche mit einem für Wasser schwer permeablen Hautgewebe ausgestattet sind, wie alle mit Korkschicht, Periderm, Borke umhüllten Organe. Eine äußerst langsame Verdunstung haben die Succulenten, wie die Cacteen und kaktusförmigen Euphorbien, die Krassulaceen, Aloeen, Agaven 2c., die daher auch unter allen Pflanzen der Dürre den größten Widerstand leisten, wodurch sie befähigt werden, auf dem trockenen, sonnigen Felsboden der Hochebenen und in der regenlosen Periode in den Steppen und Wüsten ihrer Heimat sich am Leben zu erhalten.

Folgen des Welkens.

Welke Pflanzenteile können wieder trugescent werden, wenn das richtige Verhältnis zwischen Wasseraufsaugung und Transpiration wieder hergestellt wird. Jedoch ist ein übermäßig hoher Grad von Welkheit nicht mehr reparabel; ein solcher Pflanzenteil erschlafft vielmehr unaufhaltsam weiter und stirbt unter allmählicher Vertrocknung, auch wenn für reichliche Wasserzufuhr oder für Verminderung der Transpiration gesorgt worden ist. Die Pflanze kann dabei entweder ganz zu Grunde gehen, oder sie verliert nur die stärker gewelkten Teile, also die ausgebildeten Blätter, während die Stengelspitze mit den jüngeren noch nicht völlig erwachsenen Blättern sich erholt. Diese Erscheinung kann zweierlei Gründe haben. Erstens wird die Leitungsfähigkeit des Holzkörpers für Wasser vermindert oder ganz aufgehoben, wenn derselbe stärker austrocknet und eine Zeit lang wirklich aufgehört hat Wasser zu leiten. Zweitens ist aber für alle lebendige Zellen ein Wasserverlust, der eine gewisse Grenze überschritten hat, unfehlbar tödlich, weil Wasser zu den Existenzbedingungen der lebenden Zellen gehört. Immerhin können die grünen Blätter eine Zeit lang ziemlichen

Wasserverlust ohne Schaden ertragen. Nach Schröder[1]) blieben Blätter von Echeveria, welche normal 94,4 Prozent Wasser enthalten, bei einem Wasserverluste bis zu 75,7 Prozent lebendig; bei Verlust von 78,3 Prozent starben sie; Blätter von Fuchsia, welche einen Wassergehalt von 88,8 Prozent haben, ertrugen 35 bis 36 Prozent Wasserverlust ohne Nachteil; höhere Verluste brachten das Blatt zum Teil, ein solcher von 77,5 Prozent ganz zum Absterben. Nur die Flechten und die meisten Moose können ohne zu sterben, ihr ganzes Vegetationswasser eine Zeit lang verlieren. Wenn die Oberfläche des Gesteins, der Baumrinde und des Erdbodens, den diese Pflänzchen bewohnen, austrocknet, so schrumpfen dieselben zusammen, werden dürr und spröde, aber leben dennoch wieder auf, sobald Feuchtigkeit eintritt.

Verhinderung und Beseitigung des Welkens.

Das Welken wird verhütet oder wieder beseitigt, wenn genügende Wasserauffaugung durch die Wurzeln ermöglicht, also für ausgiebige Bewässerung des Bodens gesorgt wird. Aber es kann auch bei großer Trockenheit des Bodens ohne Zufuhr von Wasser gehoben werden, wenn die Verdunstung der Pflanze vermindert oder ganz unterdrückt wird. Daher können erschlaffte Pflanzen allein dadurch wieder frisch werden, daß der Feuchtigkeitsgehalt der Luft größer wird, also z. B. wenn man die gewelkten Pflanzen mit einer Glasglocke bedeckt oder in die feuchte Luft eines Gewächshauses stellt, oder auch ihre Blätter mit Wasser bespritzt. Auf diese Weise erklärt es sich auch, warum Freilandpflanzen, die am Tage wegen Trockenheit des Bodens welk geworden sind, in der Nacht wieder frisch werden, weil die Luft zur Nachtzeit einen höheren Feuchtigkeitsgehalt besitzt und weil die Transpiration der Pflanze durch den Einfluß des Lichtes gesteigert, durch die Dunkelheit verlangsamt wird; das Wasser, welches die Wurzeln ja auch aus dem trocknen Boden noch immer langsam erwerben, kann sich nun wieder in der Pflanze ansammeln.

Sommerdürre Verscheinen und Notreife.

3. Sommerdürre. Verscheinen und Notreife des Getreides. Wenn eine fertig oder nahezu fertig entwickelte und vollbelaubte Pflanze in eine Trockenheitsperiode kommt, wobei zwar noch immer so viel Feuchtigkeit von den Wurzeln gesammelt wird, um das akute Verwelken zu verhüten, aber doch der Wasservorrat im Boden zu gering ist, um die erforderliche Menge von Nährstoffen, welche die Pflanze beansprucht, in sie einzuführen, so tritt mehr eine chronische Krankheitsform auf, die sich ganz allmählich herausbildet und durch eigentümliche Symptome charakterisiert ist, die beim bloßen Verwelken nicht Zeit haben

---

[1]) Über die Austrocknungsfähigkeit der Pflanzen. Untersuch. aus d. bot. Inst. Tübingen II. Heft 1.

sich auszubilden, wiewohl, wie das nicht anders zu erwarten ist, dabei auch Welkungserscheinungen manchmal zeitweilig mit hinzutreten. Diese mit den Eingangs genannten Namen bezeichnete Krankheit läßt sich als ein langsames Verhungern und Vertrocknen charakterisieren und äußert sich darin, daß die Blätter, ihrer Altersfolge nach, also vom untersten beginnend nach oben fortschreitend, eins nach dem andern total gelb und bald vollständig dürr werden, wobei bisweilen zugleich stellenweise braune Flecken sich bilden. Besonders bei den Gramineen beginnt am einzelnen Blatt die Verfärbung an der Spitze und schreitet allmählich bis zur Basis fort; man sieht also hier während des Auftretens der Krankheit Blätter, bei denen nur die Spitze, solche, bei denen ein größerer Teil der Blattfläche oder die ganze Blattfläche gelb geworden ist, sowie solche, wo die Gelbfärbung auch bereits an der Blattscheide mehr oder weniger weit herab reicht, so zwar, daß die Krankheit an der Spitze eines Blattes schon beginnt, wenn sie an den vorangehenden noch nicht bis zur Basis fortgeschritten ist. Der Erfolg für das Leben der ganzen Pflanze ist ein sehr verschiedener. Bei den einjährigen, zumal beim Getreide, richtet sich das nach der Entwickelungsperiode, in welche die Sommerdürre fällt[1]). Wenn die Pflanze den Beginn des Samenansatzes erreicht hat, so hindert das Absterben der Blätter die vollständige Ausreifung der Körner nicht mehr wesentlich, die vorhandenen Nährstoffe werden dann aus den Blättern in die jungen Fruchtanlagen transportiert, und die Ernte ist nicht gefährdet. Häufig kommt aber die Krankheit schon früher, etwa gegen die Blütezeit; der Blütenstand bleibt dann in der obersten Scheide sitzen, denn es ist oft kaum das oberste Blatt noch gesund und die Pflanze ist bald ganz gelb, ähnlich wie bei der natürlichen Reife, sie wird notreif, wie man sich ausdrückt. Da in dieser Zeit die Pflanze noch der Assimilationsorgane bedarf, so hat der Verlust derselben die Folge, daß die Körnerbildung ganz unterbleibt oder sehr mangelhaft geschieht. Sogar vor dem Sichtbarwerden des Blütenstandes kann das Verscheinen schon den Halm töten; es wächst dann manchmal noch ein seitlicher Bestockungstrieb auf, der aber auch bald von demselben Schicksal ereilt wird. Wir haben dann den stärkeren Grad vor uns, der als eigentliches Verscheinen bezeichnet wird. Perennierende Gräser verlieren bei starker Dürre ihre oberirdischen Sprosse unter den gleichen Erscheinungen; Grasplätze sehen dann verdorrt aus. Aber hier halten die perennierenden Teile lange lebensfähig aus und bringen bei Eintritt von Feuchtigkeit wieder grüne Triebe hervor.

---

[1]) Vergl. Hellriegel, Beiträge z. d. naturwiss. Grundlagen des Ackerbaues. Braunschweig 1883, pag. 498 ff.

Auch bei dikotylen Krautpflanzen zeigt sich Sommerdürre unter analoger Verfärbung der Stengel und Blätter von unten an beginnend. Was die Praktiker beim Lein als „die Röte" und als „Gelbsucht der Köpfe", beim Hopfen als „Sommerbrand" oder „rote Lohe" bezeichnen, gehört hierher.

Sommerdürre bei Holzpflanzen

Sogar bei Holzpflanzen tritt in trockenen Sommern am Laube die Erscheinung der Sommerdürre auf. Es ist jedoch für diese Pflanzen der Verlust des Laubes durch Sommerdürre nicht tödlich; Zweige und Knospen bleiben am Leben und belauben sich und blühen teilweise bisweilen schon im Herbst wieder, wenn die Witterung feuchter wird. Nur eine ungewöhnlich lange Dürre zieht auch für solche Pflanzen den Tod nach sich. Aber das vorzeitige Absterben des assimilierenden Laubkörpers hat jedenfalls eine mangelhaftere Holzbildung, nämlich einen vorzeitigen Abschluß des neuen Holzringes und außerdem wohl auch eine unvollständige Bildung von Reservenährstoffen in Stamm und Zweigen zur Folge, abgesehen von dem Substanzverluste, der durch die in voller Vegetationsthätigkeit verloren gehenden Blätter bewirkt wird. An immergrünen Bäumen äußern sich die Wirkungen eines sehr trockenen Sommers in dem Abwerfen der Blätter, und zwar der älteren Blätter, die ja auch normal nach und nach abfallen, unter diesen Umständen aber zahlreich und verfrüht abgeworfen werden. So thun es nach Bouché[1]) die Orangenbäume, Kamellien, Lorbeer und andre immergrüne Bäume; Thuja wirft die grünen Zweige ab. An den Obstbäumen haben trockene Sommer ein Abwerfen der Früchte im unreifen Zustande zur Folge.

Gipfeldürre.

In Waldbeständen tritt an Bäumen, die vorher unter günstigeren Verhältnissen sich entwickelt haben, bei Verminderung des Wasser- und Nährstoffgehaltes des Bodens außer der allgemeinen Wuchsverminderung, leicht die sogenannte Gipfeldürre oder Zopftrocknis ein, d. h. ein Vertrocknen des oberen Teiles der Baumkrone, während der untere Teil sich grün erhält. In Rotbuchenbeständen soll dies oft schon im Stangenholzalter dann auftreten, wenn Streunutzung stattfindet, was sich aus der unentbehrlichen Verwertung des Laubhumus durch die in der obersten Bodenschicht wachsenden Mykorhizen, von denen unten die Rede sein wird, erklärt. Die wasserbedürftige Erle wird bei übertriebener Entwässerung gipfeldürr. Eichen, die im Bestandesschlusse erwachsen sind, sollen nach Freistellung leicht gipfeldürr werden, was R. Hartig[2]) dadurch zu erklären sucht, daß infolge der Freistellung die stärkere Licht-

---

[1]) Monatsschrift der Ver. z. Beförder. d. Gartenb. 1877, pag. 246.

[2]) Lehrbuch d. Baumkrankheiten 2. Aufl. Berlin 1889, pag. 241.

wirkung eine stärkere Assimilation den Blätter und reichliche Bildung von Wasserreisern am Schafte hervorrufen, daß anderseits aber auch der Humus des Bodens rascher verzehrt werde und den Boden tiefer austrockne. Bisweilen sollen auch an Baumstämmen infolge starker Trockenheit Risse im Holze, ähnlich den Frostrissen (S. 210), besonders an der Süd- und Westseite eintreten, wofür Hartig[1]) und Nördlinger[2]) Angaben beibringen.

Mikroskopische und chemische Veränderungen im sommerdürren Blatte.

Über die Natur des Verscheinens und seinen Zusammenhang mit der Trockenheit des Bodens sind wir noch ungenügend unterrichtet. Die Krankheit mit der herbstlichen Entfärbung und Entleerung der Blätter zu vergleichen, ist unstatthaft, wie Kraus[3]) bezüglich der Holzgewächse nachgewiesen hat. Derselbe zeigte, daß die am Blattgrunde im Herbst sich bildende Trennungsschicht, welche den Blattfall vorbereitet, hier nicht gebildet wird, weshalb die durch Sommerdürre getöteten Baumblätter den ganzen Winter am Baume hängen bleiben, ferner daß das Mesophyll zwar ebenso wie in den herbstlichen Blättern keine Spur von Stärkemehl, wohl aber noch das anscheinend unverminderte Protoplasma in den Zellen enthält, teils zu braunen desorganisierten Klumpen zusammengeballt, teils zwar zusammengezogen, aber noch die Chlorophyllkörner und den Zellkern erkennbar enthaltend. In sommerdürren Blättern von Gerste und Hafer finde ich im Mesophyll ebenfalls keine Stärke, während dieselbe im gesunden grünen Blatte dort reichlich vorhanden ist; auch die Chlorophyllkörner sind verschwunden, an ihrer Stelle gelbe, ölartige Kügelchen, bald große, bald kleine und dann molekular bewegliche vorhanden, welche durch Äther aufgelöst werden; außerdem enthalten die Zellen ihr nicht merklich vermindertes Protoplasma zu einem großen, meist runden, farblosen Körper kontrahiert; in manchen Zellen scheint die gelbe ölartige Substanz in dem Protoplasmaklumpen gelöst zu sein, denn dieser sieht gelb aus und entfärbt sich durch Äther. Die oben erwähnten braunen Flecken der Getreideblätter beruhen auf einer Braunfärbung der Zellmembranen, namentlich der Außenwand der Epidermiszellen, welche auf einem gewissen Areal diese Farbe annimmt; besonders intensiv erscheinen dann gewöhnlich die Spaltöffnungszellen gebräunt. Von der Epidermis aus kann die Färbung auch mehr oder weniger tief ins innere Gewebe sich erstrecken, sowohl auf die angrenzenden Zellen eines Fibrovasalstranges, als auch auf die des Mesophylls Diese Bräunung ist wohl der vielfach an abgestorbenen Zellen zu beobachtende Beginn eines Humifikationsprozesses. Pilze sind, wenigstens im Anfange der Verfärbung, nicht vorhanden; aber es erscheinen sehr bald, wie auf allen abgestorbenen an der Luft befindlichen vegetabilischen Teilen, einzelne aufgeflogene und in Keimung begriffene Sporen von Cladosporium und Sporidesmium, aus denen sich manchmal späterhin, wenn der Tod des Blattes eingetreten ist, die bekannten schwarzbraunen Räschen der Konidienträger dieser Pilze entwickeln, welche hiernach in keiner kausalen Beziehung zur Krankheit stehen. Am Wurzelsystem ist nichts Abnormes zu bemerken. Über die stofflichen

[1]) Flora 1883, Nr. 14, pag. 224.

[2]) Centralblatt f. d. gesamte Forstwesen 1878, pag. 281.

[3]) Botan. Zeitg. 1873, Nr. 26 u. 27.

Verhältnisse des sommerdürren Blattes liegt außer dem angegebenen mikroskopischen Befunde nur folgende Analyse Märker's vor, welche von Kraus (l. c.) mitgeteilt wird, und den prozentischen Gehalt, auf Trockensubstanz bezogen, von sommerdürren und herbstlichen Blättern eines und desselben Strauches von Syringa gegenüberstellt.

	Sommerdürre	Herbstliche Blätter
Stickstoff	1,947	1,370
Phosphorsäure	0,522	0,373
Kali	2,998	3,831
Kalk	1,878	2,416
Mineralstoffe	8,028	9,636

Diese Zahlen zeigen, daß man die Sommerdürre nicht mit dem herbstlichen Laubfall vergleichen darf und daß dem Baume durch diese Krankheit fast doppelt soviel Stickstoff und Phosphorsäure als durch die herbstliche Entleerung verloren geht. Dies wird dadurch erkärlich, daß beim Eintritt der Sommerdürre die Zellen des Mesophylls im Vollbesitze ihres Protoplasma vom Tode ereilt werden, während bekanntlich vor dem Laubfall im Herbste die Baustoffe des Protoplasma zum großen Teil wieder aus dem Blatte in die Zweige zurückwandern. Ich habe aber schon in der ersten Auflage dieses Buches geltend gemacht, daß der Schluß, den Kraus weiter aus jenen Zahlen zieht, nicht berechtigt ist; er schließt nämlich, „daß in den sommerdürren Blättern sowohl das Kali als das Stärkemehl auswandern, ganz so, wie vor dem herbstlichen Blattfall". Das Fehlen des Stärkemehls im sommerdürren Blatte kann, aber muß nicht so erklärt werden, denn in einem kranken Blatte könnte die Stärke auch auf andre Weise, z. B. durch Desorganisation unter Mitwirkung der Atmung, zerstört werden; übrigens findet überhaupt keine oder nur eine beschränkte Bildung von Stärkemehl durch Assimilation in solchen Blättern statt, die schon seit langer Zeit sich zu verfärben, also ihr Chlorophyll zu verlieren begonnen haben. Bezüglich des Kalis aber wäre jene Behauptung doch offenbar nur dann erwiesen, wenn man wüßte, daß in dem sommerdürr gewordenen Blatte überhaupt jemals mehr Kali gewesen ist. Dafür fehlt jeder Beweis. Ich fasse vielmehr das Verscheinen als Symtom einer mangelhaften Ernährung, als Folgen eines Mindergehaltes an gewissen mineralischen Nährstoffen auf, was freilich erst durch vergleichende Aschenanalysen normaler Blätter derselben Pflanze vom gleichen Standort und in gleicher Entwickelungsperiode bewiesen werden müßte. Die obigen Zahlen sind, soweit sie sich überhaupt vergleichen lassen, mit dieser Auffassung im Einklang: die sommerdürren Blätter sind ärmer an Kali, Kalk und andern mineralischen Nährstoffen, als die gesunden. Daß Phosphorsäure und Stickstoff in den sommerdürren Blättern in größerer Menge enthalten sind als in den Herbstblättern, kommt daher, daß diese Stoffe vor dem herbstlichen Laubfall aus den Blättern zurückwandern. Das beweist aber nicht, daß nicht auch von diesen Stoffen in den kranken Blättern weniger vorhanden ist als in den gesunden aus derselben Entwickelungsperiode Ich halte eine ungenügende Zufuhr der mineralischen Nährstoffe für die notwendige Folge mangelhafter Feuchtigkeit des Bodens. Man würde dann die Veränderungen begreifen können, die sich als Symptome bei Verscheinen einstellen: nicht bloß die Desorganisation gewisser organisierter Gebilde in den Zellen, sondern auch die

oben beschriebene Succession, in welcher dieselbe an den Organen stattfindet. Es ist ferner zu vermuten, daß die Bodendürre diesen Erfolg an einer Pflanze um so eher hervorbringt, ein je schwächeres Wurzelsystem dieselbe im Verhältnis zur Größe des oberirdischen Körpers besitzt, mag dasselbe nun eine normale Eigentümlichkeit der Spezies oder selbst wieder die Folge eines andern schädlichen Einflusses sein, sowie daß Pflanzen, deren Hauptwurzelmasse in den oberen, austrocknenden Bodenschichten angelegt ist, leichter sommerdürr werden, als die tiefwurzeligeren. Hiermit hängt es vielleicht zusammen, daß Monokotyledonen und besonders Sommergetreide früher als alle andern Pflanzen dem Verscheinen anheimfallen. Die Berücksichtigung, daß die Krankheit durch die Kombination der angedeuteten verschiedenartigen Momente zu stande kommt, wird auch den Schlüssel zu der Erscheinung liefern, daß die Sommerdürre oft nur stellenweise in einem Acker sich zeigt.

Verzwergung.

4. Verzwergung (Nanismus). Ein ganz andrer Erfolg tritt aber ein, wenn der nämliche Grad von Bodentrockenheit, welcher an einer bis dahin normal entwickelten Pflanze Verwelken oder Verscheinen hervorrufen würde, schon vor der Zeit der Keimung andauernd herrscht. In diesem Falle kann die Pflanze sich den ungünstigen Verhältnissen anpassen, indem sie den Plan für ihre ganze zukünftige Entwickelung von vornherein danach einrichtet. Es geschieht dies dadurch, daß die Pflanze verzwergt, indem eine Reduktion in den Größen- und also auch Massenverhältnissen aller einzelnen Glieder eintritt, wobei aber, was das Wichtigste ist, keine eigentlichen Krankheitserscheinungen sich zeigen und die Pflanze ihre ganze Entwickelung bis zur Erreichung der Samenreife durchmacht. Die Pflanzen erscheinen dann also als Zwerge und sind in dieser Beziehung einer erstaunlichen Reduktion fähig, wie die unten folgenden Angaben beweisen. Vom Standpunkte des Pflanzenbaues sind freilich solche Verzwergungen der Pflanzen, wegen der entsprechenden Verminderung der Produktion, einem Mißraten gleich zu achten. Aber vom Standpunkte der Pflanze selbst erfüllen die Zwerge die allgemein den Pflanzen gestellte Aufgabe: ja sie können unter den gegebenen Umständen diese ihre Lebensaufgabe eben nur dadurch, daß sie Zwerge sind, erfüllen. Und in der Erkenntnis dieser Thatsache, daß es sich um eine Anpassung an die gegebenen Umstände handelt, um die Pflanze dabei entwickelungsfähig zu machen, liegt eben, wie ich schon in der ersten Auflage dieses Buches auseinander gesetzt habe, die einzig richtige Auffassung der Verzwergung infolge von Bodentrockenheit. Die spärliche Feuchtigkeit, welche der Boden bietet, und das geringe Quantum von Bodennährstoffen, was dabei in die Pflanze befördert werden kann, würden nicht hinreichen, um die Ansprüche einer mit gewöhnlichen großen Organen ausgestatteten Pflanze zu decken. Indem die letztere aber verzwergt, macht sie selbst freiwillig ihre Ansprüche so gering, daß denselben unter den gegebenen

ungünstigen Verhältnissen noch Genüge geleistet werden kann und die Erreichung der Lebensaufgabe der Pflanze, nämlich die Wiedererzeugung keimfähiger Samen, wenn auch nur in beschränkter Anzahl, gesichert wird. Abgesehen von ihrer geringen Größe erscheint also dabei die Pflanze gesund und verrichtet alle ihre Lebensfunktionen.

Die Pflanze reagiert mit großer Empfindlichkeit und Genauigkeit auf den Trockenheitsgrad, unter welchem sie sich entwickelt. Unter sonst gleichen Verhältnissen ist an einer und derselben Spezies die Reduktion um so beträchtlicher, je geringer die Wasserzufuhr, je trockner die Bodenstelle ist, auf welcher die Pflanze ihre Entwickelung beginnt. Thatsächlich kann man auch hiernach im Freien oft alle Abstufungen von der normalen Größe einer Pflanze bis zu dem winzigsten Individuum auffinden.

Größenverhältnisse der Zwerge.

Die Verzwergung geschieht im allgemeinen allerdings in proportionalen Verkleinerungen der einzelnen Glieder, so daß die Zwerge Miniaturformen der Spezies darstellen. Jedoch gilt dieses Gesetz streng genommen nur für die oberirdischen, vegetativen Organe. Das Wurzelsystem einer Zwergpflanze ist zwar absolut kleiner, aber relativ weit größer als im normalen Zustande. Wären die Wurzeln proportional den oberirdischen Gliedern reduziert, so würde kaum eine genügende Befestigung im Boden möglich sein. Es macht vielmehr den Eindruck, als suchte die Zwergpflanze mit den Wurzeln annähernd tief in den Boden einzudringen wie die normale Pflanze, und durch die relativ größere Wurzelentwickelung vor allem auch für die genügende Sammlung von Feuchtigkeit aus dem Boden Sorge zu tragen. Ferner werden auch die Blüten und Früchte meist nicht in demselben Verhältnis verkleinert, wie die vegetativen Teile; eher vermindert sich die Zahl der Blüten, als daß die einzelne Blüte und Frucht unter ein gewisses Größenmaß sänke, was ja sehr wohl erklärlich ist, indem gerade diese Organe, um für ihre Aufgabe tüchtig zu bleiben, unter eine bestimmte Größen- und Massenentwickelung nicht heruntergehen dürfen. Es kommt dabei oft zur Reduktion in der Zahl der Elemente eines Blütenstandes, durch welche der Gattungstypus der Pflanze ganz verwischt werden kann. Am wenigsten folgen die Samen der Zwerge in der Verkleinerung den übrigen Teilen nach, und dasselbe gilt auch von der Frucht, wenn dieselbe einsamig ist, wie bei den Körnern des Getreides. Sind die Früchte typisch vielsamig, wie z. B. die Schötchen der Cruciferen, so verkleinern auch sie sich merklich, aber sie bilden weniger Samen, weil diese eben viel weniger in der Größe reduzierbar sind. Jedoch habe ich nie finden können, daß ein Zwerg nur einen einzigen Samen angelegt hätte; bei den kleinsten Formen, die ich an-

traf, waren wenigstens zwei Samen vorhanden, so daß es scheint, als sei das Gesetz der Multiplikation der Keime durch nichts zu erschüttern.

Vorkommen von Zwergen.

Die hierhergehörigen Fälle von Zwergwuchs sind durch ihr Vorkommen auf trocknem Boden charakterisiert. Im Freien findet man Zwerge besonders auf exponierten Bodenstellen, wo die Feuchtigkeit schnell abläuft und durch die Luft verzehrt wird und wo keine Vegetationsdecke von Kräutern, Gräsern Moosen u. dergl. die Bodenoberfläche feucht erhält, daher namentlich auf Wegen, auf kahlen wüsten Plätzen u. dergl. Auf leicht trocknenden Böden, wie auf Sand und Kies, kommt die Erscheinung häufiger als auf anderen Bodenarten vor. Aber man trifft sie selbst auf schwerem, lehmigen Boden, wenn derselbe an der Oberfläche leicht und rasch abtrocknet, wobei er im Innern reichlich feucht sein kann; dies ist besonders an Pflanzenarten mit kurzen, in der trocknen Bodenschicht befindlichen Wurzeln der Fall. Auch kann man künstlich Zwerge erziehen, wenn man die erforderliche Bodenbeschaffenheit herstellt. Manche der Formen, welche in der beschreibenden Botanik die Bezeichnung nanus, pumilus, minimus ꝛc. führen sind Zwerge in dem hier bezeichneten Sinne. Daß man durch Wegschneiden der Cotyledonen und sogar schon durch Auswahl der kleinsten Samen kleinere Pflanzen erhalten kann, ist schon an andrer Stelle (pag. 120) erwähnt worden; mit der hierher gehörigen Verzwergung hat jene Erscheinung insofern Ähnlichkeit, als bei ihr die Verminderung der für die junge Pflanze bestimmten Reservenährstoffe die Ursache der geringen Größenentwickelung ist. Wir werden unten auch Mangel an Nährstoffen als Ursache von Zwergbildung kennen lernen. Daß die künstlich durch Stecklinge und geeignete Verstümmelung erzielten sogenannten Zwergbäumchen nichts mit den hier bezeichneten Erscheinungen gemein haben, braucht nur angedeutet zu werden.

Erzeugung von Zwergwuchs durch Kulturversuche.

Daß konstante Bodendürre zwerghafte Pflanzenformen erzeugt, ist eigentlich allgemein anerkannt. „Plantae omnes in terra sterili, exsucca, arida, minores“ lehrte schon Linné. Den exakten Beweis dafür lieferte Sorauer[1]) durch vergleichende Kultur von Gerstenpflanzen, welche alle in einem Boden von gleichen Nährstoffmengen sowie unter gleichen übrigen Verhältnissen zur Keimung und Entwickelung kamen und nur durch das dem Boden zugeführte Quantum destillierten Wassers sich unterschieden. Die mit der Verminderung der Wasserzufuhr abnehmende Größe der Pflanzen zeigt sich besonders in den angegebenen Dimensionen der Blattfläche. Wo der Boden 60% seiner wasserhaltenden Kraft an Bodenfeuchtigkeit erhielt, wurde die Blattfläche in Mittel 182,2 mm. lang und 9,4 mm. breit, bei 40% Wasser im Mittel 166,27 mm. lang und 9,1 breit, bei 20% Wasser 138,7 lang und 6,87 breit, endlich bei nur 10% Feuchtigkeit 93,7 lang und 5,6 breit. Möller[2]) hat auch an Bromus mollis gezeigt, daß der Zwergwuchs keineswegs erblich ist, indem man aus Samen von Zwergpflanzen Exemplare von normaler Größe unter günstigen Vegetationsbedingungen erhält; jedoch lieferten unter gleichen Bedingungen die Samen normaler Pflanzen größere Exemplare als diejenigen von Zwergpflanzen.

---

[1]) Bot. Zeitg. 1873, Nr. 10.

[2]) Beiträge zur Kenntnis der Verzwergung. Landwirtsch. Jahrbücher 1883.

Größenverhältnisse der Teile der Zwerge.

Das morphologische Gesetz der Verkleinerung beim Zwergwuchs wurde von Moquin-Tandon[1]) nicht genau zutreffend als eine gleichmäßige Verkleinerung sämtlicher Teile eines Gewächses bezeichnet. Was ich oben in dieser Beziehung gesagt habe, davon möge das folgende Beispiel mit seinen Zahlen ein Bild gewähren. Ich habe die folgenden Nachweise bereits in der ersten Auflage dieses Buches gegeben.

Draba verna.

	Zwergpflanze	Normale Pflanze
Wurzellänge (Hauptwurzel und Seitenwurzeln 1. und 2. Ordnung)	60 mm	1113 mm
Zahl der Stengel	1 „	5 „
Länge des Stengels	7 „	54 „
	Gesamtlänge d. Stengel und Traubenäste	200 „
Dicke des Stengels	0,15 „	0,30 „
Zahl der Blätter	7 „	39 „
Länge eines Blattes	1,5 „	10 „
Breite „ „	0,4 „	4 „
Ungefähre Gesamtfläche der Blätter in Quadrat-mm	4,20 „	800 „
Zahl der Blüten	1 „	33 „
Größe „ „	1 „	2 „
Länge des Schötchens	1 „	7 „
Zahl d. Samen im Schötchen	5 „	63 „
Größe der Samen	0,4 „	0,4 „

Die beistehende Fig. 28 welche eine Zwerg-Draba im blühenden und fruchttragenden Zustand darstellt, illustriert die vorstehenden Zahlenangaben und zeigt anschaulich die relativ enorme Wurzelentwickelung. Das Gleiche gilt von dem in Fig. 29 dargestellten Zwerg von **Panicum sanguineum**. Es sei bemerkt, daß die obigen Zahlen der Wurzellängen nach sorgfältigster Freipräparierung des gesamten Wurzelsystems gewonnen sind.

Die gestaltlichen Veränderungen der Zwerge erstrecken sich bisweilen noch weiter als auf Größenreduktion: der morphologische Typus kann sich ändern. Statt einer Traube kann nur eine Einzelblüte vorhanden sein, wie bei **Draba**, statt der Fingerähre eine dreiblütige Ähre bei **Panicum sanguineum**. Die kleinsten Zwerge von **Bromus mollis** haben statt einer Rispe mit vielblütigen Ährchen ein einziges terminales, zweiblütiges Ährchen. Die Ähre von **Plantago major** kommt bis auf 3 Blüten reduziert vor. Wo jedoch der wesentliche morphologische Charakter einer Infloreszenz notwendig auf dem Aufbau aus einer Vielzahl von Blüten beruht, scheint die Zahl derselben über die hierdurch vorgeschriebene Grenze nicht reduzierbar zu sein. So zähle ich an Zwergen von **Matricaria Chamomilla** mit einem einfachen, 43 mm langen, 0,25 mm dicken Stengel in dem einzigen terminalen Köpfchen, dessen Rezeptakulum nur etwa 1,5 mm im Durchmesser hat, doch 5 Strahl- und ungefähr 6 Scheibenblüten. Auch die Blattform kann sich wesentlich ändern; so kommen zwergige **Capsella bursa pastoris**

[1]) Pflanzenteratologie, deutsch von Schauer, pag. 74.

und Teesdalia nudicaulis statt mit gefiederten, mit einfachen, ganzrandigen Blättern vor. Bemerkenswert ist das Verhalten der Trichome. Bei Draba verna sind die Blätter der Zwerge nur mit wenigen Haaren in der Nähe der Spitze versehen, oft auch ganz kahl, während im normalen Zustande das ganze Blatt mit Haaren besetzt ist, wenn auch an der Basis spärlicher. Die Haare der Zwergblätter sind verhältnismäßig sehr groß (vergl. Fig. 28 C). Die Länge eines der sternförmigen Haare von der Basis derselben bis zur Spitze eines Sternstrahles beträgt an Blättern normaler Pflanzen durchschnittlich 0,3 mm, an denen der kleinsten Zwerge 0,18 mm. Während also die Blätter ungefähr 7 mal kürzer und 10 mal schmäler, oder an Flächenraum 70 mal kleiner sind, werden die Haare bei den Zwergen noch nicht um das Zweifache der Größe reduziert.

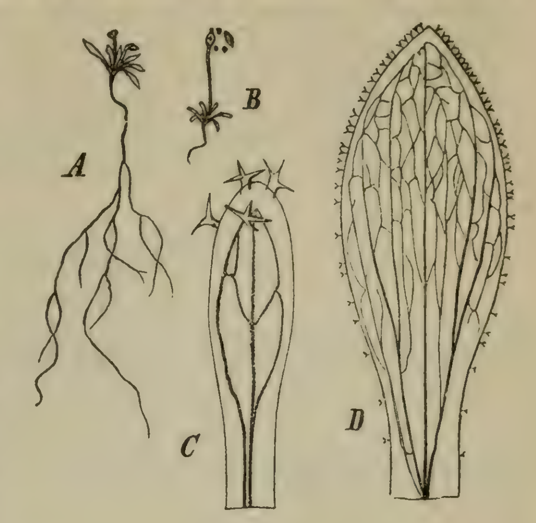


Fig. 28.
Zwerge von Draba verna. A blühende Pflanze mit dem vollständigen Wurzelsystem, einem einblütigen Stengel und einigen Wurzelblättern. Wenig vergrößert. B fruchttragende Pflanze, mit einem aufgesprungenen mehrsamigen Schötchen. Wenig vergrößert. C Blatt eines Zwerges mit wenigen Haaren an der Spitze und den vollständigen Fibrovasalsträngen. Vergrößert. D Blatt einer normalen Pflanze, mit zahlreichen Haaren und mit dem vollständig gezeichneten System der Nerven. Viel schwächer vergrößert als C.

Größenverhältnisse der Zellen der Zwerge.

Hinsichtlich der Elementarorgane der Zwerge ist der wichtigste Satz, daß die Verkleinerung derselben nicht entfernt in demjenigen Verhältnis geschieht, welches der Reduktion der ganzen Organe entsprechen würde; sie erscheinen wenn nicht ganz in der normalen Größe, so doch nur unbedeutend kleiner; mit andern Worten: die Kleinheit der Organe kommt vorwiegend auf Rechnung der geringen Anzahl der Zellen. — Sorauer[1]) hat es schon früher ausgesprochen, daß die größeren Dimensionen der Blätter der Gerste bei stärkerer Wasserzufuhr teilweis durch Vermehrung der Zellen, teilweis durch größere Ausdehnung derselben bedingt werden, daß mit der Breite des Blattes die Zahl der Fibrovasalbündel desselben wächst (vergl. Fig. 28 C u. D); ferner fand er die Epidermiszellen bei 10% Wasser am kürzesten, bei 60% am längsten, das gleiche hinsichtlich der Spaltöffnungen, welche in $^1/_{400}$ mm ausgedrückt bei 10% Wasser 16,2 mm, bei 20% 16,9 mm, bei 40% 18 mm und



Fig. 29.
Zwerg von Panicum sanguineum, mit den vollständigen Wurzeln. Wenig vergrößert.

[1]) l. c. pag. 153.

bei 60% 19,3 lang waren; dagegen die Zahl der Spaltöffnungen auf einer bestimmten Fläche um so geringer, je mehr Wasser die Pflanze erhielt (weil durch die größeren Epidermiszellen die Spaltöffnungen weiter von einander gerückt werden). Um das oben Gesagte anschaulicher zu machen, stelle ich hier die kleinsten Zwerge (s. oben) den normalen Pflanzen hinsichtlich der von mir gefundenen anatomischen Verhältnisse gegenüber. Die Zahlen sind auf Mittelwerte aus einer Anzahl Messungen berechnet.

I. Panicum sanguineum.

A. Blattfläche

eines mittleren Halmblattes. Messungen aus der unteren Hälfte der Blattfläche.

	Zwerg (Blattfläche 7 mm lang)	Normale Pflanze (Blattfläche 46 mm lang)
Länge der Epidermiszellen	0,10 mm	0,12 mm
Breite „ „	0,020 „	0,022 „
Länge der Spaltöffnung	0,022 „	0,029 „
Zahl der Spaltöffnungen in einer Reihe im Gesichtsfeld	4,6 „	4,1 „
Zahl der Nerven	28 „	75 „
Durchmesser der chlorophyllhaltigen Mesophyllzellen	0,016 „	0,018 „

B. Halm

zwischen dem obersten Blatte und der Infloreszenz.

	Zwerg (Halm 13 mm lang)	Normale Pflanze (Halm 400 mm lang)
Zahl der Fibrovasalstränge	6 mm	26 mm
Zahl der Zellen im Querdurchmesser des Markes	12 „	20 „
Durchmesser der größten Markzellen	0,027 „	0,038 „
Länge der größten Markzellen	0,081 „	0,114 „

II. Draba verna.

A. Blatt,

in der Mitte auf der Unterseite[1]).

	Zwerg (Blatt 2 mm lang)	Normale Pflanze (Blatt 12 mm lang)
Länge der Epidermiszellen	0,033 mm	0,117 mm
„ „ Spaltöffnungen	0,018 „	0,027 „
Zahl der Spaltöffnungen auf 0,01 Quadrat mm	8 „	1,3 „

[1]) Die Verhältnisse der Nervenatur siehe in Fig. 28.

B. Stengel, in der Mitte.

	Zwerg (Stengel 12 mm lang)	Normale Pflanze (Stengel 54 mm lang)
Länge der Epidermiszellen . . .	0,154 mm	0,237 mm
Breite „ „ . . .	0,009 „	0,009 „
Zahl der Fribrovasalstränge . .	3 „	6 „
Zahl d. Zellen im radialen Durchmesser der Rinde	3—4 „	4—5 „
dd des Holzringes	2 „	4 „
Durchmesser der Holzzellen . . .	0,009 „	0,009 „

Wenn man weiß, daß die unmittelbare Wirkung der mangelhaften Bodenfeuchtigkeit in einer Reduktion der Wachstumsgröße aller Pflanzenteile besteht, so ist es selbstverständlich, daß die Produktion an Pflanzensubstanz entsprechend geringer ist. So fand denn auch Hellriegel (l. c.) bei Versuchen mit vierzeiliger Gerste folgende Produktion im Durchschnitt von je 3 Pflanzen.

Bodenfeuchtigkeit in Prozenten der wasserhaltenden Kraft	Trockensubstanz	
	in Stroh und Spreu	in Körnern
80—60	7,394 Grm.	4,896 Grm.
60—40	5,988 „	4,133 „
40—20	4,842 „	1,942 „

Mittel gegen Trockenheit des Bodens.

Die Mittel gegen den Wassermangel im Erdboden können hier nur kurz angedeutet werden, da eine Behandlung dieser Fragen mehr Sache des allgemeinen Pflanzenbaues ist. In erster Linie stehen Berieselungsanlagen. Zur Erhaltung der Bodenfeuchtigkeit trägt Bodenlockerung durch Behacken, Eggen oder Schälen bei, weil die obersten Bodenschichten wegen ihrer Lockerung zwar schneller abtrocknen, aber dadurch die unteren Bodenschichten mehr schonen. Dieselbe Wirkung hat auch Bedecken des Bodens mit lockerem Material, wie Stroh, Stalldünger, Torferde 2c. Auch wirkt die Humusdecke des Bodens wassererhaltend. Ein mit Gras oder anderen niederen Pflanzen bestandener Boden verliert dagegen mehr Wasser aus seinen tieferen Schichten, als im unbewachsenen Zustande, weil die Pflanzen durch die starke Verdunstung das aus dem Untergrunde aufsteigende Wasser entführen. Bei forstlichen Kulturen wird, erst wenn die Pflanzen den Bestand geschlossen haben, die Gefahr des übermäßigen Austrocknens des Bodens geringer; darum werden Saatbeete durch Zäune, Bestecken mit Reisern und dergl. künstlich geschützt.

B. Ungenügende Nährstoffzufuhr.

Nährstoffbedürfnis der Pflanze.

Zu den wichtigsten Bedürfnissen der Pflanze gehören ihre Nährstoffe. Wo diese sämtlich oder auch teilweise völlig fehlen, kommt daher keine normale Ernährung zu stande, die Pflanzen verkümmern frühzeitig und kommen nicht zum natürlichen Abschlusse ihrer Vegetation. Und bei ungenügender Zufuhr von Nährstoffen bleibt die Entwickelung und Produktion der Pflanze entsprechend hinter der Norm zurück.

Welche chemischen Elemente die Nährstoffe der Pflanze ausmachen und in welchen chemischen Formen dieselben von der Pflanze beansprucht werden, ist eine Frage der Pflanzenphysiologie, deren Kenntnis hier vorausgesetzt werden muß, und über welche in den betreffenden Lehrbüchern nachgelesen werden kann. Hier sind nur die speziellen Krankheitserscheinungen hervorzuheben, welche sich zeigen, sobald in diesen Beziehungen den Bedürfnissen der Pflanze nicht entsprochen ist.

Eine ungenügende Zufuhr von Nährstoffen kann aus verschiedenen Gründen eintreten, die wir hier im einzelnen zu betrachten haben. Erstens selbstverständlich dann, wenn die für die Pflanze geeigneten Nährstoffe selbst fehlen oder in unzureichender Menge geboten sind. Zweitens aber auch dann, wenn die unentbehrlichen Symbiosen-Pilze, welche bei zahlreichen Pflanzen an der Erwerbung der Nährstoffe für die Pflanzen helfend beteiligt sind, im Erdboden nicht vorhanden sind, und wenn infolgedessen die Symbiose der Pflanzenwurzeln mit diesen Pilzen, welche eine Bedingung der Nährstofferwerbung ist, nicht zu stande kommen kann.

I. Nährstoffmangel.

Die zur Ernährung notwendigen Elementarstoffe.

Folgende elf Elementarstoffe machen in ihrer Gesamtheit die Nahrung der Pflanze aus: Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Chlor, Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen. Den Wasserstoff und den Sauerstoff erwirbt die Pflanze in Form von Wasser, dessen Bedeutung für die Pflanze schon im vorigen Abschnitt behandelt worden ist. Kohlenstoff und Stickstoff werden vielfach aus der Luft in Form von Kohlensäure und Stickstoffgas aufgenommen, doch sind für gewisse Pflanzen auch organische Kohlenstoffverbindungen und für die meisten Pflanzen Salpetersäure, Ammoniak oder organische Stickstoffverbindungen, die alle der Erdboden liefern kann, als Nährstoffe zu betrachten. Die übrigen der aufgezählten Nährelemente können nur aus dem Erdboden erworben werden, wo sie als Kali-, Kalk-, Magnesia- und Eisensalze, und zwar meist als Karbonate, Sulfate, Phosphate, Nitrate und Chloride den Pflanzen dargeboten sind.

Die natürlichen Erdböden enthalten wohl ohne Ausnahme wenigstens etwas von jeder der eben genannten Verbindungen, so daß hier von keinem absoluten Fehlen, auch nicht eines einzigen Nährstoffelementes, die Rede sein kann. Aber in genügender Menge, in geeigneter Form, um eine normale und gesunde Vegetation zu erzeugen, sind sie in vielen Böden nicht vorhanden, so daß nur durch eine entsprechende Düngung den Pflanzen aufgeholfen werden kann. Von welcher Art dieselbe sein muß, ergiebt sich teils aus dem Krankheitsbilde, welches die Pflanzen auf solchen Böden darbieten, teils aus der Ermittelung der chemischen Zusammensetzung des betreffenden Bodens und aus den bekannten Ansprüchen, welche die einzelnen Kulturpflanzen hinsichtlich der Nährstoffe stellen.

Folgen des Mangels aller Nährstoffe.

Wenn die Gesamtheit der Nährstoffe in ungenügender Menge vorhanden ist, so hat das an den Pflanzen Verzwergung und somit auch Verminderung der Stoffproduktion zur Folge, also dieselbe Erscheinung, welche auch bei chronischem Wassermangel sich einstellt (S. 271). Nachdem ich dies bereits in der ersten Auflage dieses Buches ausgesprochen hatte, ist der exakte Beweis dafür durch eine von Möller[1]) bei mir ausgeführte Untersuchung erbracht worden, indem nämlich die Pflanzen in Wasserkulturen gezogen wurden, wobei ihnen eine beliebig verdünnte Nährstofflösung geboten werden konnte, so daß also die durch Wassermangel bedingte Verzwergung vollständig ausgeschlossen war. Solche Versuche wurden mit Oenothera biennis angestellt, welche dabei in ganz verdünnter Nährstofflösung so zwerghaft wurde, wie auf trockenem Boden. An Bromus mollis ließ sich auch die Empfindlichkeit der Pflanze hiergegen konstatieren, indem mit Abahme der Konzentration von 1 auf $^1/_2$ und auf $^1/_4$ pro Mille die durchschnittliche Blattlänge sich auf 74,5, 72,1 und 58,3 mm stellte, so daß also gerade so wie mit Abnahme der Wassermenge des Bodens auch mit Abnahm des Nährstoffvorrates im Boden eine schrittweise Verkleinerung an den Pflanzenteilen eintritt.

Folgen des Mangels eines einzelnen Nährstoffes.

Wenn nur ein einzelner der sämtlichen Nährstoffe in ungenügender Menge vorhanden ist, so ist ebenfalls Verzwergung und also Verminderung der Stoffproduktion die Folge. Wenigstens gilt dies von den wichtigsten Nährstoffen, wie den Stickstoffverbindungen, der Phosphorsäure, dem Kali, dem Kalk. Da der Bedarf der Pflanzen an diesen Stoffen ein besonders großer ist, so kann leicht an einem oder dem andern derselben im Boden Mangel eintreten, der dann die angegebene Erscheinung zur Folge hat und die dann durch Düngung

[1]) Beiträge zur Kenntnis der Verzwergung. Landwirtsch. Jahrbücher 1883.

mit dem betreffenden Stoffe gehoben werden kann. Diese sich abstufende Verkleinerung der Pflanzen bei Mangel eines einzelnen Nährstoffes zeigt z. B. unsre Fig. 30, welche Parallelkulturen von Sinapis alba darstellt in reinem Quarzsand, wobei in allen Kulturen sämtliche Bodennährstoffe in gleicher und zureichender Menge gegeben sind, mit Ausnahme des Stickstoffes, von welchem in den einzelnen Kulturen von 0 bis 0,6 gr. Calciumnitrat erhalten haben. Dementsprechend sieht man



Fig. 30

Kulturen von Sinapis alba in reinem Quarzsand, mit gleichen Mengen Nährstofflösungen, aber ungleicher Gabe von Stickstoff in Form von Calciumnitrat, und zwar A stickstofffrei, B mit je 0,1 gr, C mit je 0,6 gr Kaliumnitrat.

die steigende Entwickelung der Pflanzen, die sich verhält, ausgedrückt im Trockengewicht der einzelnen Pflanze, wie 0,058 : 0,67 : 2,26. Man kann die hier erläuterte Thatsache auch so ausdrücken, daß derjenige Pflanzennährstoff, welcher gerade im Minimum vorhanden ist, das Wachstum und die Produktion der Pflanze beherrscht, denn er bedingt, daß nach Maßgabe seiner Mengenverhältnisse die Entwickelung der Pflanze eine Reduktion erfährt, so daß also jedesmal durch eine Düngung mit demjenigen Nährstoff, welcher im Minimum vorhanden ist, die Entwickelung und die Produktion der Pflanze gehoben werden. Man hat dies als das Gesetz des Minimums bezeichnet.

Vom physiologischen Standpunkte aus ist es wieder klar erkennbar, daß die Verzwergung auch in diesen Fällen eine Anpassung an die gegebenen Verhältnisse ist, durch welche die Pflanze schon im Beginn ihres Lebens ihren Entwickelungsplan so einrichtet, daß der im Minimum gegebene Nährstoff eben noch bis zur Bildung von Samen ausreicht. Es wird dadurch auch recht deutlich, wie die Nährstoffe nun in ihrer Gesamtheit für die Pflanze von Nutzen sind, daß also auch anderseits eine reiche Menge von Nährstoffen nutzlos sein kann, sobald ein einziger in ungenügender Menge dargeboten ist, indem dann die andern auch nur so weit ausgenutzt werden können, als es von dem Quantum des im Minimum vorhandenen Nährstoffes gestattet wird.

Geeignete Form der Nährstoffe.

Bei den einzelnen Nährstoffen kommt es aber auch auf die chemische Form an, in welcher sie der Pflanze dargeboten sind. Im allgemeinen können die Nährstoffe in verschiedenen chemischen Verbindungen, entweder schon von vornherein im Boden vorhanden oder durch die Düngung gegeben werden. Aber es ist für die Pflanze nicht gleichgültig, in welcher Form sie ihr dargeboten werden, weil ein und dasselbe Nährelement in verschiedenen chemischen Verbindungen ungleichen Nährwert besitzt, so daß also ungünstige Folgen eintreten müssen, wenn ein oder der andere Nährstoff in einer unwirksamen oder nur schwach wirkenden Form gegeben ist. Man muß auch wissen, welche Rolle die einzelnen Nährstoffe in der Pflanze spielen, um den jeweiligen Erfolg, der bei ungenügender Zufuhr der einzelnen Nährstoffe eintritt, richtig zu beurteilen. Wir werden nun die Nährstoffe in den soeben angedeuteten Beziehungen einzeln für sich betrachten. Ein tieferes Eingehen auf das Ernährungsphysiologische ist jedoch hier nicht am Platze; es gehört dies in die Pflanzenphysiologie, und über den gegenwärtigen Stand dieser Lehre kann man sich in einem diesbezüg-Werke[1]) informieren. Hier wird vielmehr die Beschreibung der jeweils auftretenden Krankheitserscheinungen die Hauptaufgabe sein.

Pflanzen, welche organischer Nährstoffe bedürfen.

1. Organische Verbindungen als notwendige Nährstoffe. Die Pflanzen zerfallen hinsichtlich der Qualität ihrer Nahrung in zwei Klassen: solche, welche notwendig organische Verbindungen zu ihrer Ernährung beanspruchen, und solche, welche mit anorganischen Stoffen sich begnügen. Von den ersteren soll hier die Rede sein. Es sind Pflanzen, die nicht gedeihen, wo ihnen die erforderlichen organischen Verbindungen nicht geboten sind. Zu ihnen gehören vor allen Dingen alle chlorophylllosen Pflanzen, weil diese nicht im stande sind, aus Kohlensäure ihren Bedarf an Kohlenstoff zu entnehmen und eben

[1]) Vergl. mein Lehrbuch der Botanik I. Leipzig 1892, pag. 512 ff.

darum auf organische Substanzen angewiesen sind. Das Substrat, welches diese Pflanzen bewohnen, muß also notwendig organisches Material liefern, und die Natur dieser Substrate bringt es mit sich, daß auch die meisten andern Nährelemente, wie Stickstoff, Schwefel, Kalium, Calcium, Magnesium, darin in Form organischer Verbindungen enthalten sind, sodaß thatsächlich diese Pflanzen das meiste ihrer Nahrung in organischer Form aufnehmen, womit nicht gesagt sein soll, daß die letztgenannten Elemente nicht auch in Gestalt gewisser anorganischer Verbindungen verwertbar wären; jedoch nur diese, denn der Kohlenstoff ist diesen Pflanzen nur in organischer Form zugänglich. Je nach der Art des Substrates, welches die hierher gehörigen Pflanzen bewohnen, unterscheiden wir 1) Schmarotzer oder Parasiten, welche aus den lebendigen Körpern andrer Pflanzen oder Tiere, auf denen sie wachsen, die zu ihrer Ernährung erforderlichen organischen Substanzen aufnehmen. Dieses gilt von den zahlreichen echten Schmarotzerpilzen, die auf bestimmten Pflanzen oder Tieren vorkommen; bei vielen derselben ist es freilich schon gelungen, sie auf leblosem organischen Substrate zu erziehen. Es giebt auch parasitische Phanerogamen, wie die Arten von Cuscuta, Orobanche 2c., welche nicht über den Keimpflanzenzustand hinaus sich entwickeln, wenn die für sie erforderliche Nährpflanzenspecies (Flachs, Klee 2c.) ihnen nicht erreichbar ist. 2) Fäulnisbewohner oder Saprophyten, welche ein lebloses Substrat verlangen, in welchem gewisse organische Verbindungen vorhanden sein müssen, die ihnen zur Nahrung dienen; wie z. B. für den Hefepilz Zucker, für Schimmelpilze Fruchtsäfte und viele ähnliche Substanzen, für zahlreiche andere kleine und große Schwämme verwesende vegetabilische Materialien und Pflanzenteile oder animalische Exkremente, wie z. B. der Champignon nur gedeihen kann, wenn er auf einer Unterlage kultiviert wird, welche organische Bestandteile, besonders Pferdedünger enthält. Für viele saprophyte Pflanzen ist der Humus der geeignetste Nährboden, wo also Kohlenstoff in Form von Humuskörpern, Stickstoff größtenteils in Form von organischem Humusstickstoff, und wohl auch die andern Nährelemente in Form von Humaten dargeboten sind. Diese Saprophyten werden Humusbewohner genannt. Zu ihnen gehören erstens viele der größeren Schwämme, besonders die waldbewohnenden. Das den Humusboden überall durchwuchernde Mycelium dieser Pilze muß ganz besonders befähigt sein, die humifizierten Pflanzentrümmer, aus denen der Waldhumus besteht, wieder für die Pflanzenernährung auszunutzen, indem es diese größtenteils unlöslichen organischen Verbindungen, welche durch den bloßen Verwesungsprozeß nur sehr langsam löslich und also für die Ernährung höherer Pflanzen tauglich

gemacht werden können sehr rasch wieder in Pflanzennahrung umsetzen. Durch Vermittelung dieser humusbewohnenden Pilze können aber auch höhere Pflanzen, nämlich die Waldbäume selbst, wieder mit dem Material, welches der Humus bietet, ernährt werden, wie dies festgestellt worden ist durch meine Entdeckung der allgemeinen Pilzsymbiose der Wurzeln der Waldbäume, der sogenannten Mykorhizen, und durch meinen Nachweis, daß thatsächlich diese Bäume durch die Pilze des Waldbodens notwendig ernährt werden müssen, worüber unten näheres zu finden ist. Solche durch Pilzhilfe mit Humus ernährt werdende Phanerogamen gehören daher auch mit zu den Humusbewohnern. Unter diesen finden wir wiederum chlorophylllose Pflanzen, wo also die Notwendigkeit der Ernährung mit Humuskohlenstoff selbstverständlich ist, wie z. B. die krautartigen Pflanzen Monotropa hypopitys, Corallorhiza innata, Neottia nidus avis &c. Aber auch viele chlorophyllhaltige, wie eben die zu den Cupuliferen und Coniferen gehörigen Waldbäume sind der Ernährung mit Humusverbindungen durch Pilzhilfe so angepaßt, daß sie, wie ich gezeigt habe[1], auf humuslosem Boden, auch wenn alle Pflanzennährstoffe in anorganischen Verbindungen gegeben sind, nicht normal sich entwickeln, sondern kümmerlich bleiben und zeitig zu Grunde gehen. Alle diese Pflanzen würden also als obligate Humusbewohner zu betrachten sein. Außerdem giebt es noch viele Pflanzen, die in ihrem Vorkommen in der Natur augenscheinlich auch die humusreichen Böden bevorzugen und deren Kultur in solchem Boden die besten Resultate liefert, obgleich dieselben in ihren Wurzeln in keiner Symbiose mit Pilzen leben und daher auch auf humuslosen Böden, sobald nur die erforderlichen Nährstoffe und zwar in anorganischer Form gegeben sind, zu vollkommener Entwickelung gelangen. Diese Pflanzen dürften als fakultative Humuszehrer zu bezeichnen sein, womit gesagt sein soll, daß sie Humusverbindungen zwar nicht notwendig beanspruchen, aber Gebrauch davon machen, wenn ihnen solche geboten sind. Man kann nämlich die Ernährung dieser Pflanzen bedeutend steigern, wenn man vorher durch künstliche Behandlungsweise des Humus, in welchen die Samen eingesät werden sollen, eine größere Menge der Humusverbindungen löslich, also aufnehmbar für die unverpilzte Pflanzenwurzel gemacht hat, was, wie ich gezeigt habe[2], durch Behandeln des Bodens mit heißem Wasserdampf geschieht. Dieses Experiment ist mir z. B. mit

[1] Frank, Über die physiologische Bedeutung der Mykorhiza. Berichte d. deutsch. botan. Ges. 1888, pag. 248.

[2] Frank, Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. Berlin 1890 pag. 134, und Lehrbuch der Botanik I, pag. 553.

Rüben, Tabak, Hafer und andern Pflanzen in stets gleichem Sinne gelungen.

Ernährung mit Stickstoff.

2. Der Stickstoff. Nach der neuen Lehre, wie sie in den letzten Jahren von mir begründet und gegen ihre Widersacher durch mich und andre Forscher bewiesen worden ist[1]), schöpfen die Pflanzen allgemein ihren Stickstoffbedarf aus zwei Quellen: 1) aus den Stickstoffverbindungen, welche im Substrate der Pflanzen zu finden sind, insbesondere also was den Erdboden betrifft, aus salpetersauren Salzen, Ammoniaksalzen und organischen Stickstoffverbindungen, wie solche in den Düngemitteln animalischer Herkunft und in dem organischen Humusstickstoff vorliegen. Von den genannten Verbindungen ist aber allgemein die Salpetersäure das beste Stickstoffnahrungsmittel, die andern wirken weit schwächer, ja sind als solche zu einer normalen Ernährung nicht geeignet; im Erdboden gehen sie ja aber auch nach einiger Zeit von selbst in Salpetersäure über, sie werden nitrifiziert, und damit erreicht die Düngerwirkung dieser Verbindungen mehr oder weniger diejenige der Salpetersäure. Nur für die Pilze ist die Salpetersäure ein minder gutes Nahrungsmittel, als Ammoniak oder besonders als organische Stickstoffverbindungen, von denen die verschiedensten Arten zur Ernährung dieser Pflanzen vorzüglich geeignet sind, wie insbesondere von den Schimmel- und Hefepilzen erwiesen ist, während die im Humus oder auf Kot wachsenden Schwämme anzeigen, daß in diesen Substraten für sie besonders geeignete organische Stickstoffnahrungsmittel vorhanden sind. 2) Aus freiem Stickstoff der Luft. Dieser wird jedoch von den meisten Pflanzen viel langsamer assimiliert, als die Stickstoffverbindungen. Die letzteren sind also viel schneller bei der Ernährung wirksam. Daher ist es auch im allgemeinen unmöglich, Pflanzen ausschließlich mit freiem Stickstoff zu normaler Entwickelung zu bringen. Auf einem Boden, der gar keine Stickstoffverbindungen enthält, bleiben die Pflanzen, auch wenn alle übrigen Nährstoffe hinreichend vorhanden sein sollten, sehr kümmerlich, und die Kultur schlägt unter solchen Umständen so gut, wie gänzlich fehl; die Pflanzenproduktion zeigt hierbei nur eine geringe Vermehrung des Stickstoffgehaltes gegenüber demjenigen des ausgesäten Samens, resultierend aus einer nur geringfügigen Assimilation von freiem Luftstickstoff. Wenn aber eine geeignete Stickstoffverbindung im Boden gegeben ist, so tritt zunächst eine schnellere und bessere Ernährung der Pflanze ein, und zwar in steigendem Grade, wenn

[1]) Ich verweise auf meine neueste Darstellung in Bot. Zeitg. 1893, wo auch meine Originalarbeiten darüber citiert sind.

man von sehr geringen Quantitäten der Stickstoffverbindungen ausgehend, dieselben allmählich steigert (Fig. 30, S. 280). Aber so gekräftigte Pflanzen vermögen nun auch energischer freien Stickstoff zu assimilieren, denn man findet dann bei vergleichenden Bestimmungen des Stickstoffgehaltes der Ernte und des Bodens vor und nach der Kultur, daß ein mehr oder minder ansehnlicher Teil des Erntestickstoffes aus der Luft hinzugekommen sein muß; die Stickstoffverbindungen des Bodens erweisen sich nicht vollständig von der Pflanze ausgenutzt, ja der Boden kann nach der Kultur im Stickstoffgehalte gar nicht zurückgegangen oder sogar wegen der zurückbleibenden Pflanzenrückstände vermehrt sein. Von diesem Satze machen nur die Leguminosen insofern eine Ausnahme, als sie durch ein besonderes Hilfsmittel ihre Assimilation des freien Stickstoffes so beschleunigen können, daß sie damit fähig werden, auch auf völlig stickstofflosem Boden zu normaler Entwickelung zu gelangen, so daß diese Pflanzen die einzigen Phanerogamen zu sein scheinen, welche allen Stickstoff, der zu einer normalen Pflanzenproduktion gebraucht wird, allein aus dem freien Stickstoff nehmen und somit eine Stickstoffdüngung ganz entbehren können. Dieses Hilfsmittel ist die Symbiose mit dem in den Wurzelknöllchen der Leguminosen lebende Spaltpilz Rhizobium Leguminosarum, von welcher unten noch die Rede sein wird.

Schwefel als Nährstoff.

3. Der Schwefel gehört zu den unentbehrlichen Nährelementen, da er ein Bestandteil der Eiweisstoffe ist. Alle Pflanzen bedürfen daher einer geeigneten Schwefelverbindung als Nährstoff; und zwar sind dies vorzüglich die schwefelsauren Salze, die ja auch in den Düngemitteln Kainit, Gips, schwefelsaures Ammoniak enthalten sind.

Phosphor als Nährstoff.

4. Der Phosphor. Da Phosphorsäure in einer innigen Beziehung zu den Eiweisstoffen steht, insbesondere ein Bestandteil der Nucleïne ist, also zur Bildung der Zellkerne gebraucht wird, so gehört selbstverständlich auch ein phosphorsaures Salz zu den unentbehrlichen Nährstoffen, und bei Fehlen eines solchen bleiben alle Pflanzen bald in ihrer Entwickelung stehen.

Chlor als Nährstoff.

5. Das Chlor. Geringe Mengen von Chloriden sind für die gesunde Entwickelung der Pflanzen notwendig. Zwar haben Knop und Dworzak[1]) jede Bedeutung des Chlors für die Ernährung der Pflanze bestritten, weil sie Buchweizenpflanzen in chlorfreien Nährstofflösungen bis zur Entwickelung einer Anzahl keimfähiger Samen zu

[1]) Berichte d. Verhandl. d. Sächs. Ges. d. Wissenschaften. Leipzig 1869 und 1875 I. — Knop, Kreislauf des Stoffes. Leipzig 1868, pag. 165 und 228.

bringen vermochten. Es haben aber Nobbe[1]) und Beyer[2]) nachgewiesen, daß Buchweizen, Gerste und Hafer in chlorfreien Lösungen entschieden schlechter sich entwickeln als in ebenso zusammengesetzten, aber mit einer Chlorverbindung versehenen Lösung. Das gleiche ist auch durch eine bei mir von Aschoff[3]) angestellte Untersuchung für Zea mais und Phaseolus bewiesen worden. Die Bedeutung des Chlors für die Pflanze ist noch unklar. Brasch und Raabe[4]) erhielten in Nährstofflösungen, die im übrigen gleich zusammengesetzt waren, aber das Kalium in verschiedenen Salzen enthielten, von Buchweizenpflanzen mit Chlorkalium 387, mit saurem phosphorsaurem Kali 184, mit schwefelsaurem 147, mit salpetersaurem 150 Körner, so daß also die Chlorverbindung die vorteilhafteste Form zu sein scheint, in welcher das Kalium der Pflanze geboten werden kann. Chlorkalium wird ja auch als Kalidüngemittel angewendet. Bei Rüben und Kartoffeln wird durch chlorhaltige Düngungen zwar der quantitative Ertrag vermehrt, aber gleichzeitig die Qualität desselben herabgesetzt, indem die Rüben an Zucker, die Kartoffeln an Stärke, also überhaupt die Reservestoffbehälter an Kohlehydraten ärmer werden[5]). Beim Tabak hat man die Erfahrung gemacht, daß, wenn er in einem an Chloriden reichen Boden wächst, die Erträgnisse zwar auch gesteigert werden, die Blätter aber einen hohen Grad von Unverbrennlichkeit infolge des höheren Gehaltes an Chlorverbindungen annehmen[6]). Bei den Salzpflanzen, wie z. B. Salicornia, die ja nur auf kochsalzreichem Boden vorkommen, ändert nach Batalin[7]) der Chlormangel nur den Habitus; diese Pflanzen, sonst saftigfleischig und blaßgrün, durchsichtig, werden dann dünner und ganz undurchsichtig dunkelgrün, weil die Parenchymzellen der Stengel zwei bis viermal enger sind, als bei den mit Chlornatrium erzogenen Pflanzen.

Silicium als Nährstoff.

6. Das Silicium kommt zwar in den Pflanzenaschen sehr verbreitet und bei manchen Pflanzen in so großer Menge vor, daß man dieselben als Kieselpflanzen bezeichnet hat, indem man meinte, daß sie zu ihrem Gedeihen vorwiegend Kieselsäure im Boden beanspruchen. Dieses Element gehört jedoch nicht zu den unentbehrlichen Nährstoffen.

---

[1]) Landwirtsch. Versuchsstationen 1865, pag. 371 u. 1870, pag. 394.

[2]) Daselbst 1869, pag. 262.

[3]) Landwirtsch. Jahrbücher 1889.

[4]) Just, botan. Jahresber. 1876, pag. 889.

[5]) Litteratur siehe bei Mayer, Agrikulturchemie, 2. Aufl. I. pag. 255.

[6]) Siehe Mayer, l. c. pag. 256—257.

[7]) Bulletin de congrès internat. de bot. et d'horticult. Petersbourg 1886, pag. 219.

Denn von einigen dieser Kieselpflanzen, nämlich von den Gramineen, ist es erwiesen, daß sie es auch bei Ausschluß aller Kieselsäure zu völlig normaler Ausbildung bringen. So gelang es Sachs[1]) Maispflanzen, und Knop[2]) ebenfalls Mais, Weizen, Hafer und Gerste in siliciumfreien Nährstofflösungen zu vollständiger Entwickelung zu bringen, wobei dieselben nur Spuren von Kieselsäure in der Asche enthielten. Man hat trotzdem das Silicium wenigstens für einen der Pflanze zu gewissen Zwecken nützlichen Stoff betrachten wollen. Die Meinung, daß es die Festigkeit der Getreidehalme bedinge und sein Mangel das Lagern des Getreides verursache. wurde oben (S. 166) als irrtümlich bezeichnet. Die Vermutung aber, daß kieselhaltige Zellhäute schwieriger durchdringbar seien für Myceliumfäden, und die Kieselsäure daher einen Schutz gegen das Befallen durch parasitische Pilze gewähre, ist durch nichts erwiesen; auch findet das Eindringen der Keimschläuche der Schmarotzerpilze gewöhnlich an jugendlichen Pflanzenteilen, wo die Zellhäute noch nicht verkieselt sind, statt, und übrigens dringen sie vielfach nicht durch die Epidermiszellen, sondern durch die Spaltöffnungen in die Pflanze ein. Über die Bedeutung des Siliciums in der Pflanze wissen wir, daß sie mit als Baustoff der Zellmembran verwendet wird und zwar bei den Kieselpflanzen den wesentlichen Bestandteil der Zellhäute der Epidermiszellen bildet, und es ist nicht zu leugnen, daß die Oberflächen der Pflanzenteile dadurch eine gewisse Härte erreichen, wodurch ihnen wohl ein Schutzmittel gegen Tierfraß und andre äußere mechanische Gefahren verliehen wird. Daß die Kieselsäure aber vollständig durch die Cellulose selbst vertreten werden kann, ist wenigstens für das Getreide durch die oben angeführten Untersuchungen erwiesen. Kreuzhage und Wolf[3]) wollen an den Haferpflanzen mit steigendem Gehalte der Nährlösungen an Kieselsäure eine größere Zahl und ein größeres Gesamtgewicht der Körner bekommen haben; dagegen trat in dem Gesamttrockengewicht der Pflanze und in der Menge der aufgenommenen Aschenbestandteile nach Abzug der Kieselsäure kein Unterschied hervor. Ob das Silicium für die übrigen daran noch reicheren Kieselpflanzen, wie die Equisetaceen und die Diatomaceen, jene Algen, die mit einem Kieselpanzer versehen sind, ebenfalls entbehrlich, oder ob diese ohne jenes Element sich nicht entwickeln können, ist noch eine offene Frage.

---

[1]) Experimentalphysiologie der Pflanzen, pag. 151.

[2]) Kreislauf des Stoffes I., pag. 221.

[3]) Landwirtschaftliche Versuchsstationen 1884, pag. 161.

Kalium als Nährstoff.

7. Das Kalium gehört zu den wichtigsten und unentbehrlichsten Nährstoffen, doch ist seine physiologische Rolle noch nicht festgestellt. Denn in einer von Lüpke[1]) bei mir angestellten Untersuchung wurden an Phaseolus-Pflanzen, die in völlig kalifreier Lösung im ganzen gesund, aber infolge des Kalihungers in Zwergformen sich entwickelten, normale Chlorophyllbildung, Kohlensäure-Assimilation, Bildung von Assimilationsstärke, Wanderung von Zucker, Aufspeicherung und Wiederverbrauch von Stärkemehl in der Stärkescheide, Gerbstoffbildung, also die wichtigsten Stoffbildungsthätigkeiten konstatiert, so daß es scheint, als werde das Kalium nicht zu einer bestimmten einzelnen Funktion, sondern ebenso wie Stickstoff, Schwefel und Phosphor in einer gewissen wenn auch minimalen Menge zur Bildung des Protoplasma jeder Zelle gebraucht. Eine von Nobbe[2]) bei kalifreien Kulturen beobachtete Erscheinung, daß nämlich in den verkrümmten, fast fleischigen Blättern die Stärke nicht auswandern konnte und sich passiv anhäufte, ist von späteren Beobachtern nicht wieder gefunden worden; sie dürfte auch, wie Sorauer[3]) betonte, eine sekundäre Erscheinung gewesen sein, dadurch bedingt, daß die kranke Pflanze ein Bedürfnis zur Zuleitung gelöster Kohlenhydrate nicht hatte und letztere daher in Reserveform in den Erzeugungsherden, den Blättern, verblieben. Der Einfluß des Kalimangels kann sich in zweierlei Form an der Pflanze zeigen. Entweder wächst die letztere zunächst unter Benutzung des in den Cotyledonen des Samens vorhanden gewesenen Kaliums und bekommt eine Anzahl normal entwickelter Blätter; dann stockt das Wachstum oder setzt sich wohl auch noch weiter fort, wobei aber die schon gebildeten älteren Blätter in gleichem Maße von unten herauf eins nach dem andern unter Gelbwerden absterben. Es wird dadurch das wenige Kalium dieser Organe immer wieder disponibel und den wachsenden oberen Teilen zur Ernährung zugeführt. Oder die Pflanze entwickelt sich unter Grünbleiben der Blätter in der schon oben erwähnten Zwergform und schränkt dadurch selbst ihr Kalibedürfnis von vornherein ein. Wegen des allgemeinen Bedarfes der Pflanzen nach Kali kann auf den Kulturböden leicht Kalimangel eintreten und dadurch der angedeutete Mißwachs verursacht werden, dem also durch Düngung mit kalihaltigen Stoffen, besonders mit den künstlichen Düngemitteln, wie Kainit, Carnallit und andern Staßfurter Kalisalzen abgeholfen werden muß.

Calcium als Nährstoff.

8. Das Calcium. Ohne Vorhandensein einer gewissen Menge von Kalk, in Form von kohlensaurem, phosphorsaurem, schwefelsaurem

---

[1]) Landwirtschaftliche Jahrbücher 1888.

[2]) Landwirtschaftliche Versuchsstationen XIII., pag. 321.

[3]) Handbuch der Pflanzenkrankheiten. 2. Aufl. I., pag. 187.

oder salpetersaurem Kalk oder von Chlorcalcium, läßt sich keine Phanerogame zu gesunder Entwickelung bringen. Schließt man in künstlichen Nährstofflösungen das Calcium vollständig aus, so tritt sehr bald nach der Keimung Erschlaffung und Absterben der Wurzeln ein, welches schnell den Tod des ganzen Pflänzchens herbeiführt. Wo es an Kalk im Boden fehlt, wird dem Kränkeln der Pflanzen durch geeignete Kalkdüngung, also Einbringen von Mergel, kohlensaurem Kalk oder Gips abgeholfen.

Magnesium als Nährstoff.

9. Das Magnesium gehört ebenfalls zu den unentbehrlichen Nährstoffen; die Pflanzen entwickeln sich nicht, wenn Talkerdesalze gänzlich fehlen.

Eisen als Nährstoff.

10. Das Eisen. Das Fehlen dieses Metalles hat an allen chlorophyllbildenden Pflanzen eine wohlcharakterisierte Krankheit, die Bleichsucht oder Chlorose, zur Folge, weil das Eisen zur Bildung des Chlorophylls notwendig ist. Wir reden von Bleichsucht, wenn an einer im normalen Zustande grünen Pflanze bei Entwickelung im Lichte die jungen Blätter in hellgelber Farbe zum Vorschein kommen und dauernd gelb oder gelbgrün bleiben, wobei sie jedoch im Übrigen ihre normale Beschaffenheit und Gestalt annehmen. Die Zellen des Mesophylls enthalten dann zwar in ihrem Protoplasma Chlorophyllkörner, aber an diesen ist der grüne Farbstoff nicht ausgebildet, sie haben einen gelben Farbenton, und auch ihre Zahl ist geringer als in den Zellen gesunder grüner Blätter. Bisweilen nimmt der Farbstoff soweit ab, daß die Blätter völlig weiß erscheinen. Man hat daher, wie es schon Meyen[1]) that, die Bezeichnung Chlorose auf diesen letzteren Zustand beschränkt, wo der Zellinhalt ganz wässerig, protoplasmaarm und farblos erscheint, und das ersterwähnte Aussehen als Gelbsucht (icterus) bezeichnet. Indessen sind beide in ihrem Auftreten nicht streng geschieden und sind durch allmähliche Übergänge verbunden. Hiernach sind diese Krankheiten vom Etiolement (S. 154) hinlänglich unterschieden, indem letzteres durch Lichtmangel erzeugt wird und außer dem Unterbleiben der Chlorophyllbildung auch bedeutende Veränderungen in der Gestalt und Ausbildung der Pflanzenteile erkennen läßt. Die hier beschriebenen Krankheiten können durch Eisenmangel in der Nahrung verursacht werden. Aber es sind auch noch andere Einflüsse bekannt, welche die nämlichen Krankheitserscheinungen hervorrufen, wie z. B. ungenügende Temperatur, die oben erwähnte Gelbsucht, die in eisenhaltigen Wasserkulturen oft eintritt, ferner die spontane Bleichsucht der panachierten oder ganz farblosen Blätter, so daß also nicht jede Bleich- oder Gelbsucht ohne

[1]) Pflanzenpathologie, pag. 282 ff.

weiteres auf Eisenmangel zurückgeführt werden darf. Zuerst haben Gris, Vater und Sohn[1]), entdeckt, daß man gelbsüchtige Pflanzen heilen kann, d. h. daß ihre gelben Blätter ergrünen, wenn man sie eine verdünnte Lösung eines Eisensalzes durch die Wurzeln aufnehmen läßt. Eine Reihe späterer Forscher[2]) hat weiter durch Versuche gezeigt, daß man durch Kultur in eisenfreien Nährstofflösungen die Krankheit hervorrufen kann. Besonders lehrreich sind in dieser Beziehung die Versuche von Sachs (l. c.). Dieser zeigte am Mais, daß die Krankheit erst dann eintritt, wenn die Pflanze alle Keimteile auf Kosten der Reservestoffe entfaltet hat; die ersten 3—4 Blätter werden grün, weil sie das im Samen enthaltene Eisen empfangen; die folgenden sind dann nur noch im oberen Teil grün, an der Basis bleich, endlich kommen lauter total kranke Blätter. Einen ganz ähnlichen Eintritt der Krankheit beobachtete er an Kohlpflanzen und Bohnen; ich an Sonnenblumen und Lein. Ebenso sah Sachs die Gelbsucht auch an vollständig normal erzogenen Maispflanzen von mehr als 48 cm Höhe eintreten, nachdem sie aus der eisenhaltigen Nährstofflösung in eine eisenfreie gesetzt worden waren; nach sechs Tagen zeigten sich auf den jungen Blättern gelbweiße Längsstreifen, die später noch stärker hervortraten, die Befruchtung der Blüten schlug fehl und das Trockengewicht der Ernte betrug nur $^1/_3$ von den in der Eisenlösung bis zu Ende gewachsenen Pflanzen. Nach Knop[3]) ist der Eisengehalt einer Eichel genügend, um die Entwickelung der Pflanze auf 1 bis 2 Jahre zu unterhalten; erst im zweiten und dritten Sommer werden, wenn man nur eisenfreie Lösungen der Pflanze darbietet, die Blätter gelb und bleich. Läßt man die Nährlösung dauernd eisenfrei, so werden, wie ich an Mais und Sonnenblumen beobachtete, die ersten mittelst des im Samen vorhandenen Eisens ergrünten Blätter wieder preisgegeben, sie sterben unter Entfärbung ab; das nun wieder disponibel gewordene Eisen wird oft dazu verwendet, um plötzlich eins oder einige der jüngsten chlorotischen Blätter ergrünen zu lassen. Eine dauernd eisenfrei bleibende Pflanze geht natürlich nach einiger Zeit zu Grunde, weil bei Mangel von Chlorophyll die Kohlensäureassimilation unmöglich ist; die Analyse zeigt dann, daß die Trockensubstanz der Ernte gegen die des angewandten Samens nur unbedeutend zugenommen hat[4]). Es scheint, daß die eigentliche Chlorose immer einen sehr rapiden

[1]) Vergl. A. Gris, Ann. des sc. nat. 1857. VII. pag. 201.

[2]) Vergl. die Litteratur bei Sachs, Experimentalphysiologie, pag. 144.

[3]) Berichte d. kgl. sächs. Ges. d. Wiss. 6. Febr. 1869.

[4]) Sachs, l. c. pag. 146. ff.

Verfall des Lebens nach sich zieht, icterische Pflanzen aber länger aushalten können, z. B. nach Knop[3]) durch Eisenmangel gelbsüchtig gewordener Mais bis zur Blüte.

Was die Quantität und Qualität der Eisenverbindungen betrifft, durch welche die in Rede stehende Krankheit verhütet oder geheilt werden kann, so hat sich übereinstimmend mit dem geringen Eisengehalt der meisten Pflanzenaschen schon eine relativ sehr kleine Menge Eisen zur vollständigen Ergrünung der Pflanzen hinreichend erwiesen; nach Knop (l. c.) reichen für ein Exemplar von Getreidepflanzen 2—5 mgr aus, um dessen ganzen Bedarf an diesem Metall zu decken. Den besten Dienst leisten Eisenoxydsalze, die in Lösung geboten werden können, oder fein verteiltes phosphorsaures Eisenoxyd, welches, wenn es auf die Wurzeln aufgeschlemmt ist, durch diese in Lösung gebracht wird. Auch die Oxydulsalze genügen, wenn sie in sehr verdünnten Lösungen gegeben werden, wahrscheinlich weil sie sich leicht zu Oxydsalzen oxydieren. Sogar eisenhaltige Doppeclyanüre, wie das gelbe Blutlaugensalz, können nach Knop, allerdings nachdem sie von der Pflanze zersetzt worden sind, das zum Ergrünen nötige Eisen liefern, wiewohl sie weiterhin als Gift (s. unten) wirken.

II. Unterbleiben der Ernährungssymbiose.

Notwendigkeit der Ernährungssymbiose.

Seit dem Jahre 1885 ist durch meine Entdeckung der allgemein verbreiteten Symbiose der Wurzeln der Cupuliferen und Coniferen mit Pilzen und durch die daran sich schließenden weiteren Forschungen ein ganz neuer Faktor bei der Ernährung der Pflanzen bekannt geworden: die Mithilfe von Pilzen bei der Erwerbung der Nahrung. Es besteht unter normalen Verhältnissen in der Natur eine konstante Verbindung zwischen den Wurzeln der betreffenden Pflanzen und gewissen Pilzen, die im Erdboden verbreitet sind und sich regelmäßig in bestimmter Weise auf oder in den Wurzeln dieser Pflanzen, sobald diese sich in dem Erdboden entwickeln, ansiedeln. Diese Pilze stehen aber zu den Pflanzen nicht in der gewöhnlichen Beziehung von Parasiten zu ihrem Wirt, vielmehr besteht hier ein gutartiges Verhältnis; die mit den Pilzen behafteten Wurzelteile werden nicht beschädigt, sondern bleiben erhalten und funktionieren für die Pflanze in zweckmäßigster Weise; der Pilz wird geradezu zum Wohlthäter der Pflanze, zu einem Lebensgenossen derselben, ohne den sie meist in einem kümmerlichen Ernährungszustande bleiben oder sogar ganz existenzunfähig sein würde. Dieses dem Parasitismus gerade entgegengesetzte Verhältnis fällt also unte

[3]) l. c. pag. 5.

den Begriff der von mir sogenannten Symbiose oder des von de Bary gebrauchten Ausdruckes mutualistische Symbiose, womit eben ausgedrückt sein soll, daß beide Symbionten wechselseitig sich nützen und am Leben erhalten, während der Parasitismus dann als antagonistische Symbiose bezeichnet wird.

Da nun ausgeprägte Krankheitserscheinungen der Pflanzen und völliger Mißwachs die Folge sind, wenn die Ernährungssymbiose bei den betreffenden Pflanzen nicht zu stande kommt, also besonders, wenn die bezüglichen Symbiosepilze im Erdboden nicht oder ungenügend vorhanden sind, so müssen diese Verhältnisse auch in der Pflanzenpathologie besprochen werden. Wir setzen jedoch hier die Kenntnis der betreffenden biologischen Verhältnisse voraus oder verweisen in betreff dieser auf die Pflanzenphysiologie[1]) und werden uns hier auf die Krankheitserscheinungen beschränken, welche beim Unterbleiben der Symbiose zu beobachten sind.

Mykorhiza.

1. Die mykorhizenbildenden Pflanzen. Mit den Namen Mykorhiza oder Pilzwurzel[2]) habe ich diejenigen Saugwurzeln bezeichnet, welche auf ihrer ganzen Oberfläche mit einem lückenlosen Mantel eines aus innig verflochtenen Pilzhyphen bestehenden Gewebes bedeckt sind, welcher zugleich in organischer Verwachsung mit der Wurzelepidermis sich befindet, auch über den Vegetationspunkt der Wurzelspitze sich erstreckt und daselbst mit der Verlängerung der wachsenden Wurzelspitze stets gleichen Schritt hält. Eine solche Mykorhiza hat keine Wurzelhaare, welche sonst von den unverpilzten Wurzeln im Boden gebildet werden und die auffaugenden Organe der Wurzeln darstellen. Die Mykorhiza kann eben nur durch Vermittelung ihres Pilzmantels Wasser und Nährstoffe aus dem Boden zugeführt erhalten. Von dem Pilzmantel jeder Mykorhiza erstrecken sich zahllose Pilzhyphen in den benachbarten Humusboden, welche also dem Pilze und der Wurzel Nahrungsstoff zuführen. Der Waldhumus ist thatsächlich von solchen Pilzhyphen, die also zugleich die Mykorhizen bilden, völlig durchwuchert; sie gehören aller Wahrscheinlichkeit nach den verschiedensten waldbewohnenden Schwämmen an. Gerade die Humusbestandteile sind es, aus welchen diese Pilze ihre Nahrung ziehen, und welche

[1]) Eine eingehende Darstellung der verschiedenen Symbiose-Formen nach dem gegenwärtigen Stande der Sache ist in meinem Lehrbuch der Botanik I. Leipzig 1892, pag. 257—275 zu finden.

[2]) Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. Berichte d. deutsch. bot. Gesellsch. 1885, pag. 128 u. XXVII.

dadurch auch mittelbar den mykorhizenbildenden Phanerogamen nutzbar gemacht werden.

Vorkommen der Mykorhizen.

Mit solchen Mykorhizen konstant versehen sind, wie ich nachgewiesen habe, alle wälderbildenden Cupuliferen und Coniferen, also besonders Rotbuche, Weißbuche, Eiche, Hasel, Birke, Erle, Kiefer, Fichte, Tanne, Lärche, meist auch die Salicaceen, also die Weiden und Pappeln, auch Linde; nicht aber Esche, Ahorn, Ulmen. Auch sind sämtliche Saugwurzeln jener Bäume als Mykorhizen ausgebildet, so daß im allgemeinen unverpilzte Saugwurzeln an ihnen nicht zu finden sind. Dies gilt auch von allen Lebensaltern dieser Pflanzen, indem schon in den ersten Jahren die Wurzelverpilzung sich einstellt und dann zeitlebens am Baume sich erhält.

Verbreitung der Mykorhizen.

Ebenso habe ich gezeigt, daß die genannten Waldbäume überall mit Mykorhizen versehen sind; in allen Ländern, auf der ganzen Erde ist diese Wurzelsymbiose ein konstantes Verhältnis; man kann im allgemeinen sagen, daß in allen Wäldern an jedem Baume die Mykorhizen zu finden sind.

Bedeutung der Mykorhizen.

Die große Bedeutung der Mykorhizen für die Waldbäume habe ich durch Versuche mit Rotbuchen und Kiefern bewiesen[1]), indem ich Aussaaten dieser Pflanzen machte in Vegetationsgefäßen in einem natürlichen Buchen- beziehentlich Kiefernwaldboden, und zwar derart, daß immer die eine Versuchsreihe unbehandelten Waldboden, die andre denselben Boden, jedoch nach stattgefundener Sterilisierung im Dampfsterilisierungsapparat bei 100° erhielt. Das letztere geschah, um die im Erdboden vorhandenen Keime der Mykorhizenpilze zu töten und so die Entwickelung der Pflanze in dem gleichen Boden, jedoch ohne Mitwirkung jener Pilze vergleichen zu können. Die Ergebnisse fielen bei allen Versuchen in dem gleichen Sinne aus: die in dem nichtsterilisierten Boden wachsenden Pflanzen blieben alle am Leben und wuchsen so schön und kräftig, wie in den Saatkämpen im Freien; Prüfung ihrer Wurzeln ergab regelmäßig eine normal eingetretene Mykorhizenbildung; die in den sterilisierten Kulturen befindlichen Exemplare dagegen verkümmerten mit derselben Regelmäßigkeit und gingen binnen wenig Jahren zu Grunde. Prüfung ihrer Wurzeln ergab, daß diese völlig pilzfrei und nur wie diejenigen andrer Pflanzen mit Wurzelhaaren versehen waren. Den großen Unterschied der Kulturen und die hochgradige Erkrankung der nicht symbiotischen Pflanzen zeigt die

---

[1]) Über die physiologische Bedeutung der Mykorhiza. Berichte der deutsch. bot. Gesellsch. 1888 pag. 248 und Ernährung d. Kiefer rc. Daselbst 1892, pag. 577; auch in „Forstliche Blätter“ 1889.

in Fig. 31 nach einer photographischen Aufnahme dargestellte Buchenkultur. Die Erkrankung tritt bei Buche wie bei Kiefer an manchen Individuen schon nach dem ersten, an den meisten nach zwei bis drei

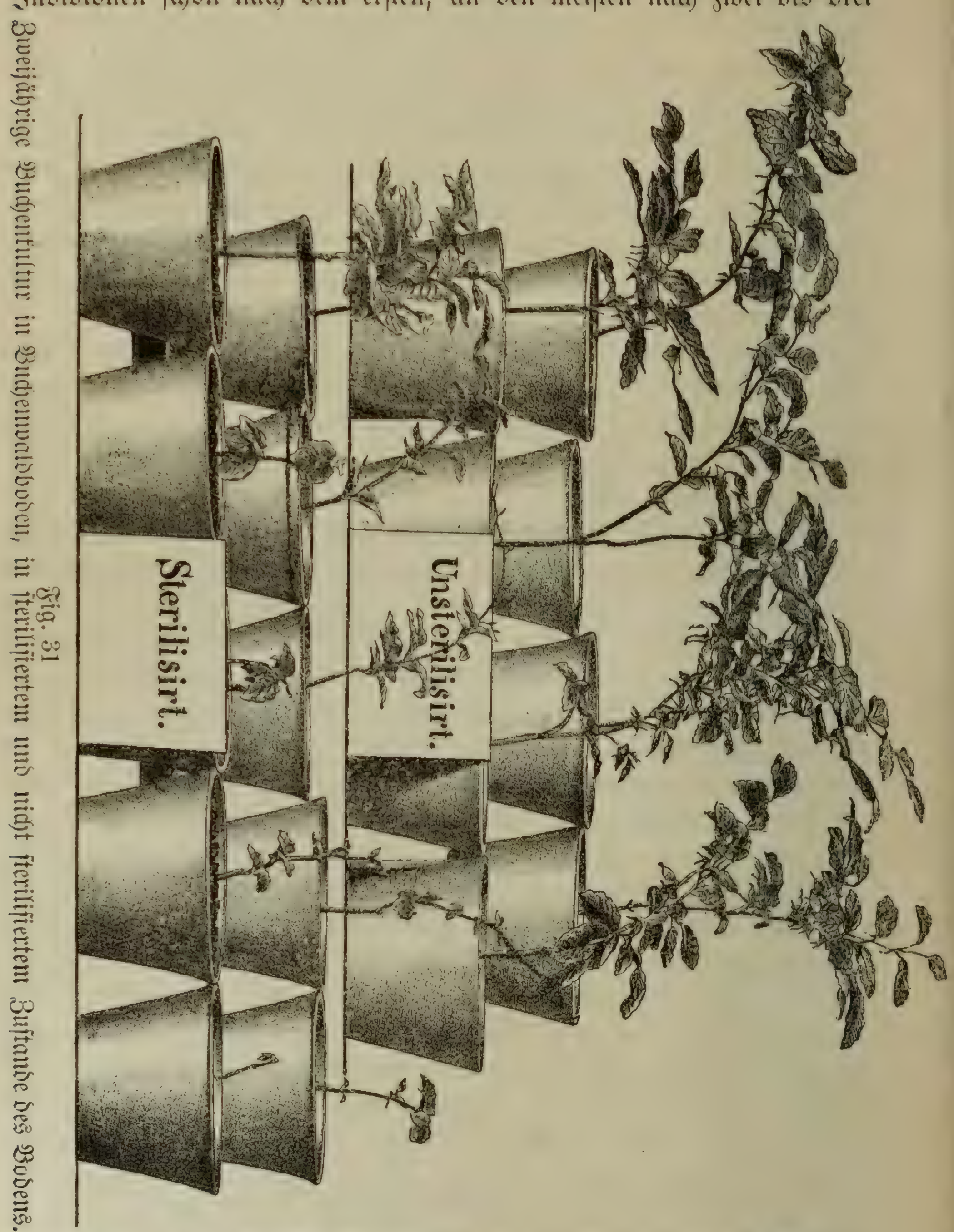


Fig. 31
Zweijährige Buchenkultur in Buchenwaldboden, in sterilisiertem und nicht sterilisiertem Zustande des Bodens.

Jahren ein. Die Krankheitssymptome der nicht symbiotischen Pflanzen bestehen darin, daß nur kümmerliche Triebe gebildet werden, an denen nur wenig und kleine, so wie oft in der Farbe mehr gelbgrüne Blätter vorhanden sind. Bei der Buche erscheinen die Blätter bisweilen bis

auf 1 cm reduziert oder verkrüppelt, bei der Kiefer macht der Trieb nur wenig Nadelbüschel, und die Nadeln sind auffallend kurz und gelbgrün. Der Tod der kümmerlichen Pflänzchen ist unfehlbar. Bei der Buche pflegt er gewöhnlich plötzlich, und zwar meist gleich nach dem Austrieb im Frühjahr einzutreten; es macht den Eindruck, als wenn gerade in dieser Periode höchsten Nahrungsbedürfnisses die Ernährungsohnmacht der Pflanze akut zu dieser Katastrophe führte. Bei der Kiefer erfolgt mehr ein langsames Hinsiechen während des Sommers und Herbstes unter allmählichem Braun- und Trockenwerden der Nadeln. Nur wenn vor dem Tode durch Zufall Keime von Mykorhizenpilzen von außen in die sterilisierte Kultur gelangt sind und die Mykorhizenbildung sich vollziehen kann, so erholt sich der Kümmerling auch von diesem Zeitpunkte an sichtlich und wird allmählich den von Anfang an symbiotischen Pflanzen immer ähnlicher; dies beweist zugleich, daß der sterilisierte Boden nicht etwa durch das Sterilisieren eine chemische Veränderung erlitten hat, die dem Pflanzenwachstum schädlich ist, sondern daß es in der That nur auf die An- oder Abwesenheit der Symbiosepilze ankommt, ob die Pflanze gesund oder krank sich entwickelt. Wie oben (S. 283) erwähnt, lassen sich ja auch andre Pflanzen, die keine Wurzelsymbiose besitzen, sehr gut in sterilisiertem Humusboden erziehen, ja noch besser, als wenn der letztere nicht mit heißem Wasserdampf behandelt worden ist, weil durch diese Behandlung viele ungelöste Humussubstanzen löslich, also für die Pflanzenernährung verwertbar gemacht werden. Es beweist dies also um so mehr, daß die von Natur auf Wurzelsymbiose angewiesenen Bäume an die Mithilfe der Pilze bei der Erwerbung der Nahrung so akkommodiert sind, daß sie ohne dieselben sich nicht genügend ernähren können. Die vorstehend erwähnten Versuche setzen auf das klarste die hohe Bedeutung der Mykorhizenpilze für die Ernährung der Bäume ins Licht, und zeigen, daß R. Hartig diese Bedeutung vollständig verkannt hat. Denn dieser Botaniker ist meines Wissens der einzige gewesen, der nach Bekanntwerden meiner Entdeckung der allgemeinen Pilzsymbiose der Waldbäume beharrlich die Ansicht vertrat, daß die Wurzelpilze Parasiten seien, welche den Baumwurzeln schaden, freilich ohne sich irgend auf genaue Untersuchungen, geschweige denn auf entscheidende Experimente stützen zu können.

Es ist noch fraglich, ob manchmal die Mykorhizenpilze der Bäume im Boden fehlen können, so daß aus diesem Grunde die Baumkultur fehlschlägt. Thatsächlich kommen in allen in Waldkultur befindlichen Böden die Mykorhizen zu stande. Dasselbe scheint auch in allen Gartenländereien der Fall zu sein. Möglich wäre es, daß auf Böden,

die stets nur als Ackerland gedient haben, und auf Ödländereien, welche aufgeforstet werden sollen, die betreffenden Pilze zunächst noch nicht oder ungenügend vorhanden sind. Ich habe indessen auf einem Bodenstück, welches lange Zeit hindurch überhaupt keine Pflanzen getragen hatte, eingesäete Buchen nur wenige Jahre ohne Mykorhizen bleiben sehen. Es scheinen also die Keime solcher Pilze schon durch die Luft allmählich in die Erdböden verbreitet zu werden, und mit der Zunahme des Humus und der lebenden Baumwurzeln dürften dann die einmal eingeführten Pilzkeime zu immer stärkerer Myceliumbildung gelangen.

Wichtigkeit der Waldstreu als Pflanzennahrung.

Es kann nicht verkannt werden, daß wegen der Ernährung durch die humusverarbeitenden Mykorhizenpilze die Waldstreu für die Ernährung der Bäume von hervorragender Bedeutung ist. Sie stellt das hauptsächliche Material dar, welches durch die Vermittelung der Wurzelpilze dem Baume wieder zur Nahrung nutzbar gemacht wird. Der Rückgang in der Holzproduktion bei Nutzung der Waldstreu erhält hierdurch seine natürliche Erklärung.

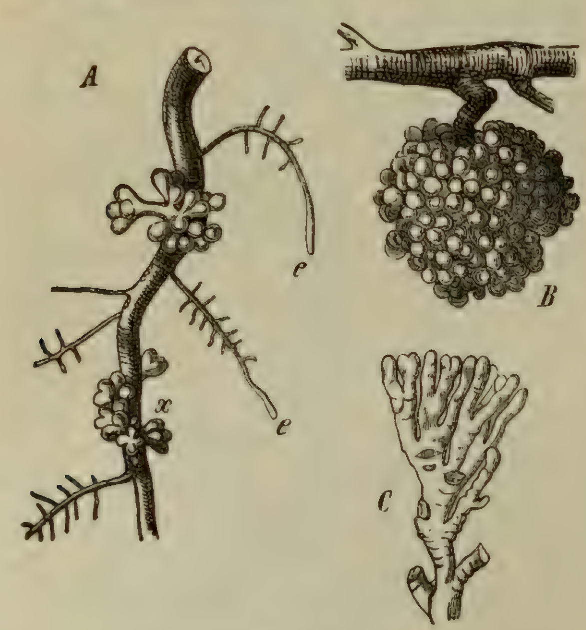


Fig. 32.

Wurzelanschwellungen der Erle. A Stück einer dünnen Wurzel mit Nebenwurzeln e und Anfängen von Auswüchsen x, in natürlicher Größe. B Ein größer gewordener Auswuchs. C Stück der Bruchfläche eines querdurchbrochenen alten Auswuchses, um das Wachstum desselben zu zeigen.

Wurzelanschwellungen der Erlen ꝛc.

2. Die Wurzelanschwellungen bildenden Erlen, Eläagnaceen und Myricaceen. An den Wurzeln der genannten Holzpflanzen kommen konstant eigentümliche Anschwellungen vor, welche kurze, dicke und korallenähnlich verzweigte Ästchen darstellen, die durch ihre reichliche und dichte Verzweigung zu voluminösen, bei den Erlen bis über faustgroßen knollenartigen Komplexen heranwachsen (Fig. 32). Von den Wurzeln unterscheiden sich diese Organe dadurch, daß sie keine Wurzelhaube und auch keine Wurzelhaare besitzen, sondern überall von einer Korkhaut überzogen sind, welche auch über den an der Spitze

liegenden Vegetationspunkt sich erstreckt, welcher das Längenwachstum und die Verzweigung vermittelt. Der wesentliche Charakter dieser Organe kann durch die Benennung Pilzkammern oder Mykodomatien ausgedrückt werden. Denn sie sind thatsächlich von einem Pilze erzeugt und bewohnt. In der Mehrzahl der Zellen des Grundparenchyms dieser Organe befindet sich außer dem Protoplasma und dem Zellkern ein klumpenartiger Körper, der ein äußerst dicht verschlungenes Fadenknäuel darstellt, dessen Fäden auch von Zelle zu Zelle vorwärts dringend mit dem ganzen Organ fortwachsen. Die Pilznatur dieser Gebilde wurde zuerst von Woronin erkannt; Brunchorst hat den Pilz genauer untersucht und ihm den Gattungsnamen Frankia gegeben[1]). Der Pilz wird unter dem Einflusse der Pflanze degeneriert und dabei zur Ansammlung von Eiweißmassen in blasenförmigen Erweiterungen seiner Fäden veranlaßt; dieses Eiweiß wird zuletzt von der Pflanze selbst aufgelöst, verdaut und zu Ernährungszwecken verwertet. Nach einer kürzlich von Nobbe[2]) mit Hippophaë rhamnoides angestellten Untersuchung scheint auch diese Symbiose für die Pflanze von Nutzen zu sein, denn die in sterilisiertem Boden ohne Bildung dieser Wurzelanschwellungen gewachsenen Pflanzen blieben bemerklich schwächer als die gleichaltrigen, die in dem gleichen aber unsterilisierten Boden die Pilzkammern entwickelt hatten.

Wurzelknöllchen der Leguminosen.

3. Die Wurzelknöllchen bildenden Leguminosen. Auch an den Wurzeln der Leguminosen finden sich in der freien Natur fast konstant an jedem Individuum knollenförmige Organe, welche ebenfalls den Charakter von Pilzkammern oder Mykodomatien haben. Sie sind, wie ich gezeigt habe, keine umgewandelte Wurzeln, sondern eigentümliche, nur aus der Wurzelrinde hervorgehende gallenartige Organe, welche durch die Infektion mit einem Spaltpilz, den ich Rhizobium Leguminosarum genannt habe, erzeugt werden und in deren Grundparenchymzellen dieser Pilz zu ungeheurer Vermehrung gelangt. Auch hier wird derselbe größtenteils degeneriert, d. h. die Spaltpilzzellen wachsen unter bedeutender Ansammlung von Eiweiß zu vergrößerten und gestaltlich umgewandelten Gebilden, den sogen. Bakteroiden heran, die zuletzt vollständig von der Pflanze aufgelöst, also wiederum verdaut werden, deren Substanz also die Pflanze sich zu Nutze macht. Die Pilzkammern, welche in den Wurzelknöllchen vorhanden und in der ersten Entwickelungszeit der Leguminose vollgefüllt

[1]) Über näheres und über die zugehörige Litteratur vergl. mein Lehrbuch der Botanik I, pag. 268 und 274.

[2]) Landwirtschaftliche Versuchsstationen XLI. 1892, pag. 139.

sind, erschienen später gegen die Fruchtreifung hin, ganz leer (Fig. 33). Immerhin bleibt eine große Anzahl der darin erzeugten Spaltpilze dem degenerierenden Einflusse der Pflanze entzogen; sie ändern ihre ursprüngliche Form nicht, behalten ihre Vermehrungsfähigkeit und werden auch nicht von der Pflanze aufgelöst; sie gelangen bei der Verwesung der endlich absterbenden Wurzelknöllchen in großer Anzahl wieder in den Erdboden, wo sie von nun an wieder neue Leguminosen zu in=

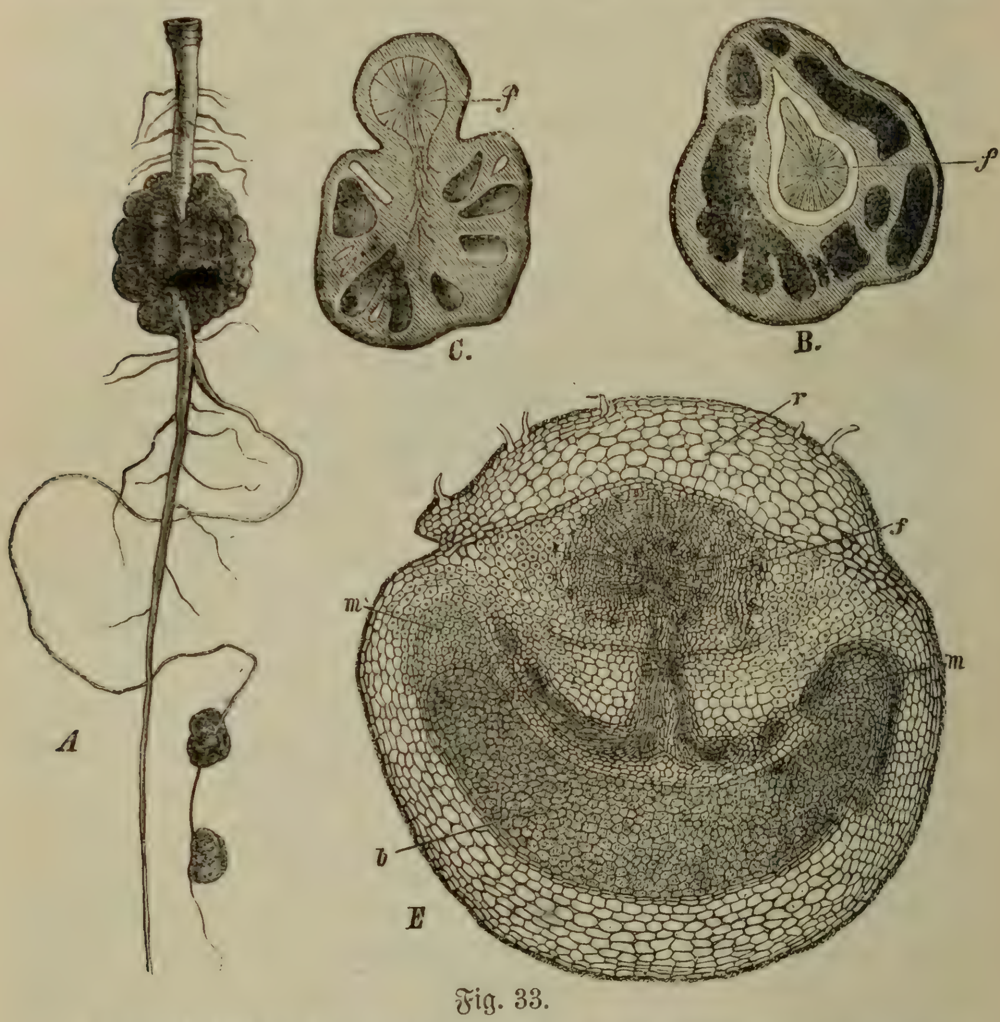


Fig. 33.

Wurzelknöllchen der gelben Lupine. A eine Wurzel mit drei verschieden großen Knöllchen. B ein Knöllchen im Durchschnitt, f der Fibrovasalstrang der Wurzel, ringsum in der Rinde die großen Pilzkammern, aus dem fleischroten Bakteroidengewebe bestehend. C altes Knöllchen mit ausgeleerten, hohlen Pilzkammern. E Querschnitt durch ein halberwachsenes Knöllchen, f Fibrovasalstrang der Wurzel, r unveränderte Wurzelrinde; das Knöllchen enthält ein ungefähr halbmondförmiges, aus Bakteroiden führenden kleinen Zellen bestehendes Gewebe b, welches bei mm seine Wachstumspunkte hat; schwach vergrößert.

fizieren vermögen[1]). Die Bedeutung dieser Pilzsymbiose für die Ernährung der Leguminose ist zuerst von Hellriegel[2]) erkannt worden, welcher zeigte, daß in einem stickstofffreien oder sehr stickstoffarmen Boden Leguminosen ohne diese Wurzelknöllchen nur sehr kümmerlich wachsen, während sie in dem gleichen Boden bei Gegenwart der Pilzsymbiose normal sich entwickeln (Fig. 34). Hellriegel zog aus seinen Beobachtungen den Schluß, daß die Leguminosen nur durch Vermittelung dieser in den Wurzelknöllchen lebenden Pilze den freien Stickstoff der Luft assimilieren können. Eine richtigere Auffassung der Bedeutung dieser Symbiose ist durch meine darüber angestellten Untersuchungen begründet worden[3]). Die Unentbehrlichkeit dieser Symbiose für die Leguminosenpflanze zeigt sich nur auf stickstofflosen Böden. Hier verhält sich die Leguminose ohne ihren Symbiosepilz genau so wie die Nichtleguminosen, d. h. sie kommt nur zu einer sehr kümmerlichen Entwickelung, wie bereits oben (S. 284) erwähnt worden ist. Durch die Symbiose wird also der Leguminosenpflanze die Ernährung mit Stickstoffverbindungen, welche andre Pflanzen notwendig brauchen, ersetzt, und es wird also mit diesem Hilfsmittel eine Pflanzenentwicklung ganz und gar aus freiem Stickstoff möglich. Auf einem Boden dagegen, welcher genügend Stickstoffverbindungen enthält, ist die Pilzsymbiose entbehrlich, die Leguminosen wachsen, wie ich gezeigt habe, auf einem solchen Boden, wenn er sterilisiert worden ist und also keine Wurzelknöllchen zur Entwickelung kommen, völlig normal, oft ebenso gut oder noch besser als mit Symbiose, und man findet dann im Erntestickstoff und im Stickstoffgehalte des Bodens eine Vermehrung gegen den Stickstoffgehalt im Samen und Boden vorher, die nur aus dem freien Luftstickstoff sich herleiten kann, also wiederum so wie bei den Nichtleguminosen. Die Pflanze ist also selbst befähigt, freien Stickstoff zu assimilieren. Der Pilz ist kein Spezifikum für Erwerbung freien Stickstoffes. Er läßt sich auch außerhalb der Pflanze durch künstliche Ernährung kultivieren, aber braucht dazu notwendig gewisse Stickstoffverbindungen; besonders Amide oder Eiweißstoffe ernähren ihn sehr gut, dagegen kann er in stickstofffreien Nährmedien kaum merklich zur Entwickelung gebracht werden; dem freien Stickstoff gegenüber verhält er sich also für sich allein sehr passiv.

---

[1]) Das Detail über die oben kurz geschilderten Verhältnisse ist nach dem gegenwärtigen Stande unsres Wissens dargestellt in meinem Lehrbuch der Botanik I. pag. 269—274, wo auch die zugehörige Litteratur zu finden ist.

[2]) Tageblatt d. Naturforscher-Versammlung zu Berlin 1866, pag. 290 und Zeitschr. des Vereins f. d. Rübenzucker-Industrie. November 1888.

[3]) Die Ernährung der Pflanze mit freiem Stickstoff in ihrer Abhängigkeit 2c. Landwirtsch. Jahrb. und Lehrbuch der Botanik I, pag. 577.



Fig. 34.

Parallelkulturen von Erbsen in stickstoffreiem Boden, A im symbiotischen Zustande (nach Impfung des Bodens), B im nicht symbiotischen Zustande.

Der Symbiosepilz wirkt also in der Leguminose vorzüglich bei fehlendem oder ungenügendem gebundenem Stickstoff im Erdboden als ein Reizmittel auf die Pflanze, wodurch die Ernährungs- und Wachstumsthätigkeiten derselben energischer angeregt werden. Wie ich näher gezeigt habe, sind es folgende Lebensthätigkeiten der Pflanze, welche dadurch befördert werden; es giebt dies zugleich eine Anlyse des Krankheitszustandes, in welchem die Leguminosen bei Ausbleiben der Symbiose auf solchen stickstoffarmen oder -losen Böden sich befinden. 1) Die Assimilation des freien Stickstoffes und also die Produktion stickstoffhaltiger Pflanzensubstanz. 2) Das Wachstum, indem die Stengel höher, die Blätter zahlreicher und größer werden. 3) Die Ausbildung des Mesophylls in den Blättern, insbesondere die Größe der Mesophyllzellen, 4) die Bildung des Chlorophylls, indem in den Mesophyllzellen die Zahl der Chlorophyllkörner sich vermehrt, die Chlorophyllkörner selbst größer werden und reicher an Chlorophyllfarbstoff sind, weshalb der ganze Farbenton der Blätter tiefer grün wird. 5) Die Assimilation der Kohlensäure, indem in den Chlorophyllkörnern reichlichere Assimilationsstärke nachweisbar ist.

C. Ungünstige Konzentrationsverhältnisse der Nährstoffe.

Schädliche Konzentrationsverhältnisse.

Die Pflanze erkrankt nicht bloß, wenn ihr zu wenig Nahrung zur Verfügung steht, sondern sie kann auch beschädigt werden durch ein Zuviel der Nährstoffe oder mit andern Worten, wenn die Konzentration der ihr dargebotenen Nährstofflösung eine zu starke ist. Wir beobachten daher die aus diesem Grunde eintretenden Erkrankungen nicht bloß, wenn Pflanzen in Nährstofflösungen, also in Wasserkulturen, gezogen werden, sobald hier ungünstige Konzentrationsverhältnisse gegeben sind, sondern auch wenn die Pflanzen, die im Erdboden wurzeln, mit zu stark konzentrierten Lösungen begossen werden, oder auch, was auf dasselbe hinauskommt, wenn die Düngemittel in zu starken Gaben in den Boden gebracht worden sind.

Der unmittelbare Einfluß stärker konzentrierter Lösungen auf lebende Pflanzenzellen ist, wie die Physiologie lehrt, der, daß der Turgor der Zelle vermindert wird, indem die sogenannte Plasmolyse eintritt, d. h. es zieht sich das Protoplasma infolge von Wasserverlust von der Innenseite der Zellhaut zurück, weil infolge von Diosmose ein Teil des wässrigen Zellsaftes aus der Zelle austritt. Bei sehr hohen Konzentrationen kann die Plasmolyse so stark werden, daß die Zelle stirbt. Ein schwächerer Grad von Plasmolyse wird wieder ausgeglichen, sobald die Einwirkung der betreffenden Lösung aufhört, d. h. wenn die Zelle wieder in reines Wasser oder in eine schwach konzentrierte

Lösung gebracht wird. Da aber auch schon durch schwache Plasmolyse der Turgor der Zelle vermindert wird, so ist es begreiflich, warum dann auch das Wachstum der Zellen geringer wird, denn der turgescente Zustand der Zellen ist eine Bedingung ihres Wachsens.

Algen und Pilze

Zunächst ist von den im Wasser lebenden Algen durch Famintzin[1]) konstatiert worden, daß Nährstofflösungen von höherem Konzentrationsgrade das Wachstum derselben beeinträchtigen und diese Pflänzchen beschädigen. Spirogyra entwickelte sich in einer 1/2-prozentigen Lösung schon nicht mehr, während Mougeotia, Oedogonium, Stigeoclonium nicht nur in dieser, sondern selbst noch in einer Lösung von 3 Prozent vollkommen gesund blieben, Protococcus viridis, Chlorococcum infusionum und „Protonema", sogar üppig gediehen; selbst 5-prozentige Lösung wurde noch ertragen; die Bildung der Schwärmsporen des Protococcus, die in distilliertem Wasser, desgleichen in 1/2-prozentiger Lösung stattfindet, wurde schon durch eine Lösung van 2°/0 verhindert. Convent[2]) behandelte Cladophora mit einer Lösung von salpetersaurem Kali und mit einer solchen von kohlensaurem Ammoniak in verschiedenen Konzentrationen, und erkannte, daß die Wirkung einer zu konzentrierten Lösung dieser neutralen Salze nur darauf beruht, daß dieselben wasserentziehend auf das Protoplasma einwirken, welches dadurch um so mehr in Plasmolyse gerät, je stärker die Konzentration ist, daß man aber die schädliche Wirkung wieder aufheben kann, wenn die Alge schnell wieder in destilliertes Wasser gebracht wird, widrigenfalls sie zu Grunde geht. Die Wirkung wurde schon bei 2-prozentiger Lösung bemerkbar; doch konnte selbst die Wirkung einer Lösung von 10 Prozent Salzgehalt durch schnelles Einlegen in reines Wasser repariert werden. Doch wachsen Pflanzenzellen, die an andre Verhältnisse gewöhnt sind, z. B. Schimmelpilze, wie Aspergillus, noch in einer Zuckerlösung von 37,2, und Pollenschläuche in einer solchen von 40 Prozent.

Phanerogamen.

Die Samen der Phanerogamen werden um so mehr in ihrer Keimfähigkeit beeinträchtigt, je konzentrierter die Salzlösungen sind, in denen sie eingequellt werden. Für die Praxis hat dieser Umstand in so fern Bedeutung, als sich daraus ergiebt, daß das Einquellen der Samen in eine Nährstofflösung, sowie das sogenannte Kandieren der Samen, d. h. das Überziehen derselben mit einer Kruste aus Nährstoffbrei, indem die in Leimlösung eingehüllten Samen in pulverförmige Düngemittel gebracht werden, oder die Ausstreuung gewisser Düngemittel, wie Kainit und ähnlicher Salze gleichzeitig mit der Aussaat anstatt längere Zeit vorher, für die Samen, sowie für diejenigen jungen Rüben, denen beim Verpflanzen eine konzentrierte Dosis Nährstoffe gegeben wird, nachteilig ist. Näher belegt wurde diese Thatsache durch die Versuche von Tautphöus[3]), wonach die in destilliertem Wasser eingequellten Samen verschiedener Kulturpflanzen am besten keimen, während in Lösungen von Chlorkalium, salpetersaurem Natron, schwefelsaurem Kali, phosphorsaurem Kali und salpetersaurem Kalk die Keimfähigkeit um so mehr herabgedrückt wurde, je

---

[1]) Bot. Zeitg. 1871, Nr. 46.

[2]) Bot. Zeitg. 1874, pag. 404.

[3]) Biedermanns Centralblatt f. Agrikulturchemie 1876, II. pag. 117.

mehr die Konzentration von 0,5 bis 5,0 Prozent stieg. Nur Chlornatrium-lösung soll eine Förderung des Wachstums zur Folge gehabt haben. In letzterer Beziehung haben die Versuche von Jarius[1]) ergeben, daß Salzlösungen von 0,2 bis 0,4 Prozent (Chlorkalium, Chlornatrium, salpetersaures Kali und Natron, schwefelsaures Kali und Ammon, saurer phosphorsaurer Kalk) günstig und oft beschleunigend auf die Keimung wirken, während erst Konzentrationen von 1 und mehr noch von 2 Prozent den Keimungsprozeß hemmen. Ähnliches gilt auch für Kartoffeln; nach Fleischer[2]) trieb ein bedeutender Prozentsatz solcher Knollen, bei denen erst unmittelbar vor dem Legen die Düngung mit Kainit und Superphosphat erfolgt war, nicht aus.

Phanerogamen sind bei Wasserkulturen, wo ihre Wurzeln in eine Lösung der Nährstoffe eintauchen, schon gegen geringe Konzentrationen empfindlich, indem zu einer gedeihlichen Entwickelung derselben der Salzgehalt ungefähr zwischen 0,05 bis 0,2, höchstens bis 0,5 Prozent sich halten darf, aber höhere Konzentrationsgrade schon schädlich wirken[3]). Genauer hat de Vries[4]) die Abhängigkeit des Wachsens der Wurzeln von dem Turgor der Zellen, also von der Konzentration der umgebenden Lösung festgestellt. Er fand innerhalb 24 Stunden folgende mittlere Zuwachse der Hauptwurzeln von Zea mais, wenn diese in Salpeterlösung gestellt wurde: in 0,5 prozentiger Lösung = 22 mm, in 1,0 prozentiger = 16,5 mm, in 1,5 prozentiger = 11,5 mm, in 2 prozentiger = 7,0 mm. Daher erklärt sich auch der schädliche Einfluß von Salzlösungen dieser Konzentration auf die Keimung der Samen. Für die im Erdboden wachsenden Wurzeln sind jedoch diese und selbst noch stärkere Konzentrationen der Lösungen, womit die Pflanzen begossen werden, noch ohne Nachteil, was wohl mit der Absorption zusammenhängen mag, welche der Erdboden auf die im Wasser gelösten Stoffe ausübt. Indessen tritt doch auch hier der schädliche Einfluß hervor, sobald eine gewisse Grenze erreicht ist, über die es jedoch noch an genaueren Feststellungen fehlt; man sieht dann nämlich die Pflanze entweder schnell absterben oder sich doch kümmerlicher und zwerghaft entwickeln. Wenn künstliche Düngemittel z. B. Chilisalpeter, Kainit &c. in zu großer Menge aufgestreut werden, beobachtet man dieselben Beschädigungen. Indessen kommen dabei wohl auch schon direkte Giftwirkungen einzelner Salze zur Geltung, worüber am entsprechenden Orte weiter unten näheres zu sagen ist.

Wirkung reicher Stickstoff-Düngung.

Es kann aber auch schon darin ein ungünstiger Einfluß auf die Vegetation liegen, daß ein oder der andre Bodenbestandteil in einigermaßen reichlicher Menge vorhanden ist, wobei die Konzentrationsverhältnisse der Bodenlösung überhaupt noch keine der Pflanze schädliche zu sein brauchen. Zum Teil hierhergehörig dürfte die allgemeine Erscheinung sein, daß die einzelnen Pflanzenarten eine Vorliebe für gewisse Bodenverhältnisse und einen Widerwillen gegen andre haben, indem von den wildwachsenden Pflanzen nach gewissen Düngungen

---

1) Einwirkung von Salzlösungen auf den Keimungsprozeß. Landw.
2) Daselbst 1880, pag. 765.
Versuchsstationen 1885, pag. 149.
3) Vergl. besonders Knop, B. d. kgl. sächs. Ges. d. Wiss. 1875, pag. 29 ff.
4) Landwirtsch. Jahrbücher. 1877, pag. 896.

bestimmte Arten mehr oder weniger zu verschwinden und dafür andre vorherrschend zu werden pflegen. Namentlich sind es starke Stickstoffdüngungen, welche sehr verändernd auf die Vegetation einwirken, nicht nur weil dadurch gewisse Pflanzen z. B. auch manche Unkräuter, zu Ungunsten andrer Gewächse befördert werden können, sondern auch weil die Entwickelung der Pflanze selbst abnorm werden kann. Denn alle diejenigen Pflanzen, welche eine Vorliebe für Stickstoffverbindungen haben und für Düngungen mit solchen, z. B. mit Chilisalpeter, Stalldung 2c. sich dankbar erweisen, können durch sehr reichliche Stickstoffgaben in ihrer ganzen Entwickelung so beeinflußt werden, daß dies unter Umständen für sie gefährlich sein kann. Reiche Stickstoffdüngungen haben bei diesen Pflanzen, zu denen die meisten der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen gehören, eine üppige Entwickelung des Laubkörpers und auch eine Verlängerung der Vegetationsperiode zur Folge. Solche Pflanzen machen dann äußerst kräftige Triebe mit großen, dicken, dunkelgrünen Blättern, haben die Neigung, immer neue derartige Triebe hervorzubringen und kommen dementsprechend viel später zum Blühen und Fruchttragen als gleichaltrige, in der Stickstoffnahrung knapper gehaltene Genossen. Haben solche Pflanzen Zeit noch zum Ausreifen zu kommen, so können sie eine reiche Ernte liefern; gar oft aber geht über der verlängerten Vegetationsthätigkeit die der Fruchtbildung günstige Jahreszeit vorüber und die Folge ist also, daß diese Organe nur noch mangelhaft oder gar nicht zur Entwickelung kommen. Dieser Fall kann daher nach überreichem Stickstoffdung eintreten z. B. bei den Kartoffeln, wo die Knollenbildung und der Stärkegehalt dadurch benachteiligt werden kann, bei den Rüben, wo dies eine Verminderung des Zuckergehaltes zur Folge hat, beim Getreide, wo die Körnerbildung dadurch leidet, besonders auch bei allem Obst, wo Unfruchtbarkeit die Folge sein kann. Ebenso ist es denkbar, daß bei starken Stickstoffdüngungen so viel von dem vorhandenen Stickstoff auf die Ausbildung des vegetativen Apparates der Pflanze verwendet wird, daß zu einer entsprechenden Fruchtbildung hinterher kein genügender Stickstoff mehr übrig ist, während das gleiche Quantum Stickstoffdüngung nicht auf einmal, sondern nach und nach während der Entwickelung der Pflanze gegeben, dieses Mißverhältnis nicht hervorgebracht haben würde. Selbstverständlich wird dagegen in solchem Falle diese Verschiebung in den Lebensthätigkeiten der Pflanze willkommen sein, wo eine möglichst üppige Ausbildung des Blattkörpers gerade dem Kulturzwecke entspricht, wie bei den Kohlarten.

V. Abschnitt.
Erkrankungen durch Einwirkung schädlicher Stoffe.

Gifte.

Die Pflanzen kommen bisweilen mit schädlichen Stoffen in Berührung, was natürlich für sie gewisse nachteilige Folgen hat. Wir können solche Stoffe in dieser Beziehung dem gewöhnlichen Sprachgebrauch entsprechend als Gifte bezeichnen. Es gehören dann aber dazu nicht bloß die eigentlichen Gifte, also Stoffe, welche nur ausnahmsweise vorhanden sind und dann gewöhnlich schon in geringer Menge schädlich wirken, sondern es kann auch durch gewöhnliche Bestandteile des Bodens oder der Luft, wenn sie in abnorm großer Menge vorhanden sind, eine Beschädigung an der Pflanze hervorgebracht werden, gerade so wie ja auch auf den tierischen Organismus manche Stoffe, die in geringer Menge ohne Einfluß oder sogar von heilsamer Wirkung sind, in stärkeren Dosen den Charakter wirklicher Gifte annehmen. Es ist daher eben auch für die Pflanze der Begriff des Giftes nicht scharf zu begrenzen. Wir behandeln hier die in dieser Beziehung in Betracht kommenden Stoffe einzeln.

Sauerstoff.

I. Der Sauerstoff. Dieser allgemeine Bestandteil der atmosphärischen Luft ist ja als Unterhalter der Atmung für die Pflanzen ebenso unentbehrlich wie für die Tiere. In dem Mischungsverhältnisse, in welchem er sich in der Luft mit dem Stickstoffgase befindet (etwa 21 zu 79) ist er in einer der Vegetation zusagenden Menge vorhanden. Ändert sich dieses Verhältnis, entweder durch Zu- oder Abnahme des Sauerstoffes, so werden verschiedene Lebensprozesse der Pflanze gestört. Es kommt dabei jedoch nur auf den Partialdruck des atmosphärischen Sauerstoffes an, indem nur solche Änderungen der Zusammensetzung der Luft schädlich wirken, wobei der Partialdruck dieses Gases eine Erhöhung oder Erniedrigung erfährt. In der freien Natur kommen freilich solche Veränderungen schwerlich vor; dieselben sind nur durch künstliche Versuche erzielt und in ihren Wirkungen auf die Pflanze studiert worden.

In reinem Sauerstoffgas von der gewöhnlichen Dichte der Luft ist nach Böhm[1]) das Wachsen auf ein Minimum reduziert und die Pflanzen gehen bald zu Grunde. So kamen die Keimlinge von Phaseolus multiflorus, Mais, Erbsen und Linsen über die ersten Stadien der Wurzel- und Stengelbildung nicht hinaus, Gartenkresse, Flachs, Sonnenblumen blieben durchschnittlich kleiner, Roggen, Gerste, Weizen, Hafer entwickelten jedoch die ersten Blätter in normaler Länge. Ein 8—10 Prozent stickstoffhaltiges

[1]) Sitzb. d. Wiener Akad. 10. Juli 1873.

Sauerstoffgas hatte ungefähr den gleichen schädlichen Einfluß. Böhm hat dann weiter gezeigt, daß, wenn das reine Sauerstoffgas durch Auspumpen mittelst der Luftpumpe oder durch Beimengung von Wasserstoff so verdünnt wird, daß es unter einem Drucke steht, welcher dem Partialdruck des atmosphärischen Sauerstoffs entspricht oder selbst kleiner ist, das Wachstum ebenso intensiv, wie in atmosphärischer Luft erfolgt. Auch die Versuche Bert's[1]) lehren, daß sowohl ein verminderter, wie ein erhöhter Luftdruck der Atmosphäre für die Pflanzen schädlich ist und daß dabei nur der Partialdruck des Sauerstoffs das Wirksame ist. Die mit Gerste, Roggen, Kresse und Radieschen gewonnenen Resultate ergeben, daß die Keimung um so langsamer vor sich geht, je niedriger der Luftdruck ist, daß die unterste Druckgrenze für Kresse 12 cm, für Gerste 6 cm ist, und bei 4 cm überhaupt nirgends mehr Keimung stattfindet, daß jedoch in einer sehr sauerstoffreichen Luft auch bei 4 cm Druck noch Keimung stattfindet und in solcher Luft ebenso rasch verlaufen kann wie in gewöhnlicher Atmosphäre bei normalem Druck, während in sauerstoffarmer Luft auch bei normalem Druck die Keimung verlangsamt wird. Ein Druck von 4 oder 5 Atmosphären ist für die Pflanzen ohne auffallenden Nachteil, wenn die Luft früh und abends erneuert wird. Bei höherem Druck werden die Triebe blaß und schmächtig; bei 8 Atmosphären entwickeln sich zwar die Wurzeln, aber nicht die Stengel; bei 10 Atmosphären finden nur Anfänge der Wurzelbildung statt (Gerste). Eine entwickelte Mimosa pudica ging in gewöhnlicher Luft bei 6 Atmosphären Druck, aber in sauerstoffreicher Luft schon bei 2 Atmosphären rasch zu Grunde. Nach Wieler[2]) nimmt jedoch die Wachstumsintensität zunächst mit der Verminderung der Partiärpressung des Sauerstoffes zu, erreicht z. B. bei Vicia Faba bei 5—6 Volumprozenten Sauerstoff ein Optimum und sinkt erst bei weiterer Verdünnung auf den Nullpunkt herab; desgleichen scheint bei Steigerung der Partiärpressung zunächst ein zweites Optimum erreicht zu werden und dann erst Hemmung des Wachstums einzutreten, denn Helianthus annuus zeigte bei 95 bis 96 Volumprozenten Sauerstoff größere Wachstumsintensität als in gewöhnlicher Luft.

Der Sauerstoffmangel bringt viele Lebensthätigkeiten der Pflanze zum Stillstand. Die dadurch bedingte Erschwerung der Atmung, also ein Ersticken, haben wir schon bei den zu tief unter der Bodenoberfläche befindlichen, also von der Luft abgeschlossenen Samen und Wurzeln (S. 251) kennen gelernt. Ebenso wird die auf die Auffaugung des Wassers aus dem Boden gerichtete Wurzelthätigkeit durch Sauerstoffmangel gehindert (S. 256) Die Physiologie lehrt auch weiter, daß viele Bewegungserscheinungen von Pflanzenteilen, sowie die Bewegungen des Protoplasmas in der Zelle bei Sauerstoffmangel gehindert werden. Läßt man einer solchen Pflanzenzelle nach nicht zu langer Zeit wieder Sauerstoff zuströmen, so beginnen die sistierten Lebenserscheinungen von neuem, die Zelle ist also in den irrespirablen Gasen zunächst in einen Zustand gekommen, den man Asphyxie nennt. Pringsheim[3]) hat gezeigt, daß die chlorophyllhaltige Zelle dabei auch in einem

---

[1]) Compt. rend. 16. Juni 1873.

[2]) Untersuchungen aus d. bot. Institut zu Tübingen I. 1883, Heft 2. Vergl. auch Jentys, daselbst II. 1888, pag. 419.

[3]) Berichte d. deutsch. botan. Gesellsch. 1887, pag. 294.

Zustande der Ernährungsohnmacht oder **Inanition** sich befindet, denn sie kann dann auch trotz Chlorophyll und trotz Luftzutritt nicht assimilieren, thut das jedoch bei Sauerstoffzutritt wieder.

Kohlensäure.

II. **Die Kohlensäure.** Die in der atmosphärischen Luft enthaltene Kohlensäure ist für alle chlorophyllhaltigen Pflanzen als Kohlenstoffquelle für die Ernährung unentbehrlich. Aber wenn der Gehalt der Luft an diesem Gase das gewöhnlich in der Atmosphäre gegebene Maß (0,04 bis 0,06 Prozent im Freien) erheblich übersteigt, so werden gewisse Lebensthätigkeiten der Pflanze ungünstig beeinflußt. Es gilt dies namentlich vom Wachstumsprozeß, von der Bildung des Chlorophylls und von der Kohlensäureassimilation. Unter natürlichen Verhältnissen kommt freilich eine solche Bereicherung der Luft an Kohlensäure, um diese schädlichen Einflüsse hervorzurufen, nicht vor, sondern nur in künstlichen entsprechenden Experimenten.

Keimung und Wachstum abhängig vom Kohlensäuregehalt der Luft.

Die Keimung und das Wachstum auf Kosten der Reservenährstoffe werden durch einen ungewöhnlichen Kohlensäurereichtum der Luft gehindert, wie schon **Saussure** erkannte und **Böhm**[1]) genauer erforscht hat. An Feuerbohnen, welche im Dunkeln in Luft von verschiedenem Kohlensäuregehalt ausgesäet worden waren, war die mittlere Wurzellänge nach 12 Tagen in gewöhnlicher Luft 13,6 cm, in 2 Prozent kohlensäurehaltiger Luft 10,5 cm, in 5 Prozent Kohlensäure 7,9 cm, in 10 Prozent 4,6 cm; in Luft von 14 Prozent Kohlensäure an war die Radicula nur unbedeutend entwickelt, die Samen zum Teil verdorben. Eine ähnliche Abstufung zeigte sich in der mittleren Stengellänge bei 0, 2, 5 und 10 Prozent Kohlensäure. Wurden die Pflanzen in gewöhnliche Luft gesetzt, so nahmen dieselben, soweit sie nicht abgestorben waren, normales Wachstum an.

Chlorophyllbildung abhängig vom Kohlensäuregehalt der Luft.

Nach **Böhm** (l. c.) soll die Bildung des Chlorophylls verlangsamt oder ganz gehindert werden, wenn die Luft nur wenige Prozente Kohlensäure enthält. Am empfindlichsten war Kresse, deren im Dunkeln entwickelten, also vergeilten Keimpflanzen in gewöhnlicher Atmosphäre im Lichte schon nach 10 stündiger Beleuchtung intensiv grün werden, in einer Atmosphäre mit nur 2 Prozent Kohlensäure viel langsamer, bei Gegenwart von 20 Prozent gar nicht ergrünten. Ähnlich verhielt sich Sonnenrose. Viel resistenter war Lein, dem sich Mohn ähnlich verhielt; die vergeilten Keimlinge bekamen selbst in einer Atmosphäre mit 33 Prozent Kohlensäure noch einen schwach grünen Anflug, nicht mehr bei 50 Prozent. Getreidearten endlich zeigten selbst in einer zur Hälfte aus Kohlensäure bestehenden Atmosphäre noch Spuren einer Ergrünung. Auch bei längerem Verweilen in solcher Luft trat kein Fortschritt in der Chlorophyllbildung ein, die Pflanzen starben nach einigen Tagen. So erkrankte Keimpflanzen ergrünten aber auch nicht mehr, wenn sie in gewöhnliche Luft zurückversetzt wurden, bekamen vielmehr braune Flecken auf den Cotyledonen und hörten auf zu wachsen. Das Unterbleiben der Chlorophyllbildung in diesen Fällen ist daher wohl auch nicht als eine direkte, sondern erst als eine sekundäre Wirkung des

---

[1]) Sitzungsber. d. Wiener Akad. 24. Juli 1873.

Kohlensäurereichtums zu betrachten, indem derselbe augenscheinlich überhaupt störend auf das Leben einwirkt, schon weil dadurch die Partiärpressung des Sauerstoffes in dem für die Pflanzen schädlichen Grade vermindert wird (S. 306).

Assimilation abhängig vom Kohlensäuregehalt der Luft.

Auch die Assimilation der Kohlensäure ist vom Gehalte der Luft an diesem Gase abhängig. Schon Boussingault beobachtete, daß ein Kirschlorbeerblatt pro qcm Blattfläche und Stunde in reinem Kohlensäuregas 0,5 bis 1,5 ccm, in einer bis zu 30 Prozent Kohlensäure enthaltenden Luft 4,0 bis 13,1 ccm Kohlensäure zersetzte. Man muß hierbei bedenken, daß sich das Blatt durch die Sauerstoffausscheidung bei der Assimilation, selbst eine zum Leben geeignete Luft schafft. Hierbei ist die partiäre Pressung der Kohlensäure allein schon von Einfluß, denn Boussingault bemerkte, daß wenn er dieses Gas durch Verminderung des Druckes auf ein größeres Volumen brachte, mit der verminderten Dichte der Kohlensäure eine stärkere Assimilationsthätigkeit eintrat. Godlewski[1]) fand an Stücken eines und desselben Blattes von Glyceria spectabilis, daß pro qdm Blattfläche und pro Stunde in einer Luft von 3,9, 12,6 und 26 Prozent Kohlensäure je 8,31, 13,56 und 11,95 ccm Kohlensäure zersetzt werden. Das Optimum liegt nach Godlewski für Glyceria bei 8—10, für Typha latifolia bei 5—7 Prozent Kohlensäuregehalt der Luft. Indessen gilt das nur im hellen Sonnenschein, bei geringerer Helligkeit war solcher Kohlensäurereichtum schon nachteilig. In Übereinstimmung damit fand Godlewski[2]) auch die Stärkebildung in den Chlorophyllkörnern bei hellem Sonnenschein in einer 8 Prozent Kohlensäure enthaltenden Luft beschleunigter als in gewöhnlicher Luft, dagegen bei großem Kohlensäurequantum verlangsamt, während in kohlensäurefreier Luft im Sonnenlichte gar keine Stärke in den Chlorophyllkörnern entsteht. Jedenfalls kann also eine Bereicherung der Luft mit Kohlensäure, wie sie für das tierische Leben bereits nachteilig ist, für die Assimilation der grünen Pflanze Vorteil bringen.

Anderseits ist aber auch vollständige Entziehung der Kohlensäure der Luft für die Blätter schädlich; nach Böchting[3]) treten an Blättern, welche, ohne von der Pflanze abgeschnitten zu sein, in einer kohlensäurefreien Luft erhalten werden, in welcher sie also nicht assimilieren können, sehr bald Störungen ein, die mit dem Tode enden, nämlich Gelbwerden der Blätter, beziehentlich Abfallen derselben, also analog wie bei Entziehung des Lichtes, was also der allgemeinen Erfahrung entspricht, daß Organe, welche ihre Funktion nicht erfüllen können, abgestoßen werden.

Feuchtigkeitsgehalt der Luft.

III. Der Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Wenn sich Pflanzen konstant in einer Luft befinden, welche sehr reich an Wasserdampf ist, so machen sich an denselben verschiedene nachteilige Folgen bemerkbar.

Einfluß auf das Wachstum

Eine ungewöhnlich feuchte Luft, wie man sie bei Kultur der Pflanzen unter Glasglocken erzielen kann, befördert das Längenwachstum der Stengel und Blätter. So fand Reinke[4]) an je 4 Keimpflanzen von Helianthus annuus, welche in feuchter Erde und im Tageslichte sich ent-

[1]) In Sachs' Arbeiten des bot. Inst. zu Würzburg, III. Heft.

[2]) Flora 1873, pag. 378.

[3]) Bot. Zeitg. 1891, Nr. 8 u. 9.

[4]) Bot. Zeitg 1876, pag. 138—139.

wickelten und nur dadurch sich unterschieden, daß die einen an freier Luft, die andern unter Glasglocke standen, nach 4 Tagen die Länge des hypokotylen Gliedes bei denen in trockener Luft 45, 50, 65, 67 mm, bei denen in feuchter Luft 75, 77, 89, 100 mm. Ähnliche Resultate erhielt Sorauer[1]) bei vergleichenden Kulturen von Gerste. In trockener Luft ist zwar die Zahl der Bestockungstriebe etwas größer als in feuchter Luft, aber die Halme sind kürzer, im Mittel 11,5 gegen 13,5 cm in feuchter Luft; die Blattscheiden sind in feuchter Luft im Mittel 9,26 cm gegen 8,18 cm lang in trockener Luft; auch die Blattfläche wird im Feuchten etwas länger (17,9 gegen 17,7 cm), aber etwas schmäler (6,74 gegen 7,33 mm). Auch ergab sich eine größere Länge der Wurzeln der in feuchter Luft gewachsenen Pflanzen, im Mittel 26,8 cm gegen 23,9 cm in trockener Luft. Die Zahl der Gefäßbündel war in den etwas schmäleren Blättern der Pflanzen der feuchten Luft etwas geringer, desgleichen diejenige der Epidermiszellen, nämlich in der ganzen Blattbreite im Mittel 233,4 in feuchter, gegen 260,5 in trockener Luft; auch die Breite der Epidermiszellen ein wenig geringer, 0,0248 mm in feuchter, gegen 0,0250 in trockener Luft. Dafür waren aber auch entsprechend der größeren Länge der Blätter der Feuchtigkeitspflanzen sowohl die Epidermiszellen etwas länger, z. B. am obersten Blatt im Mittel 36,9 gegen 33,1 ($^1/_{500}$ mm), als auch die Spaltöffnungen, z. B. am obersten Blatt im Mittel 19,5 gegen 17,0 ($^1/_{500}$ mm). Es wäre aber irrig, das stärkere Wachstum in diesem Falle als etwas Vorteilhaftes im Sinne der Pflanzenkultur anzusehen. Denn das Trockengewicht der Stengel und Blätter der Feuchtigkeitspflanzen jener Versuche war trotz des größeren Volumens geringer als das der Trockenheitspflanzen, 0,1243 gegen 0,1642; die feuchtere Luft produziert also zwar längere, aber nur wasserreichere oberirdische Organe. Die vorstehenden Thatsachen scheinen erklärlich durch die geringere Verdunstung von Wasser der in feuchter Luft befindlichen Pflanze bei reichlicher Wasserzufuhr, indem dadurch der Turgor der Zellen erhöht wird und dieser Druck auch ein stärkeres Wachtum der Zellmembranen, mithin eine Erweiterung des wasserenthaltenden Innenraumes der Zelle, oder eine Verlängerung der Zelle zur Folge hat. Auch Vesque und Viet[2]) fanden bei ihren Versuchen, daß die in feuchter Luft erzogenen Pflanzen längere Wurzeln, schmächtigere Stengel, Blätter mit längeren Stielen, aber kleineren Flächen bekommen, auch daß im anatomischen Baue Abweichungen eintreten, indem in feuchter Luft das Mesophyll des Blattes weniger deutlich in Palissaden- und Schwammparenchym differenziert ist und die Gefäßbündel, namentlich die Bastfasern, schwächer entwickelt sind, so daß also im ganzen die Pflanze in Gestalt und Bau sich etwas den etiolierten Pflanzen (S. 162) nähert. Manche Pflanzen mit grundständiger Blattrosette lösen die letztere nach Wiesner[3]) im absolut feuchten Raum trotz Beleuchtung auf, d. h. sie entwickeln gestreckte Stengelglieder; besonders zeigt dies Sempervivum tectorum und Bellis perennis, während andre Pflanzen dies nur im Dunkeln oder auch selbst da nicht thun.

---

[1]) Bot. Zeitg. 1878, Nr. 1 u. 2.

[2]) Ann. des scienc. natur. 6. sér. T. XII. 1881, pag. 167.

[3]) Berichte d. deutsch. botan. Ges. 1891, pag. 46.

Einfluß auf Ernährung und Produktion der Pflanze.

Der ganze Ernährungszustand und die Produktion der Pflanze werden in einer konstant sehr feuchten Atmosphäre vermindert. Das hängt damit zusammen, daß in einer mit Wasserdampf gesättigten Luft die Pflanze aufhört zu transpirieren. Der Transpirations-Wasserstrom, welcher durch die Pflanze geht, ist aber das Mittel, durch welches die Nährstoffe aus dem Boden in die Pflanze eingeführt werden, weil sie eben in diesem Wasser aufgelöst in die Pflanze eintreten, hier aber zurückbleiben, wenn das reine Wasser in Dampfform die Pflanze wieder verläßt und dadurch Raum schafft für die Aufnahme einer entsprechenden Quantität neuer Nährstofflösung aus dem Boden. Schon aus den vorigen Zeilen haben wir erkannt, daß keine der Volumenentwickelung der Pflanzenteile entsprechende höhere Produktion von Trockensubstanz eintritt; die Organe sind nur wasserreicher und ärmer an wirklicher Pflanzensubstanz. Die verminderte Produktion mineralischer Bestandteile sowie organischer Pflanzenstoffe in Folge unterdrückter Transpiration hat Schlösing[1]) an Tabakpflanzen konstatiert. Diejenigen, deren Verdunstung gehemmt war, lieferten im Vergleich mit solchen, welche unter übrigens gleichen Umständen ungehindert transpirierten, weniger Mineralstoffe, weniger Nikotin, Klee-, Citronen-, Äpfel-, Pectinsäure, Cellulose und Proteïnstoffe, dagegen viel Stärkemehl. Es scheint daraus hervorzugehen, daß die unterdrückte Transpiration eine Minderzufuhr mineralischer Bodennährstoffe zur Folge hat, aber nicht die Bildung von Stärkemehl aus Kohlensäure und Wasser in den Blättern verhindert, also auch nur die Produktion derjenigen Pflanzenstoffe beeinflußt, zu deren Erzeugung zugleich Bestandteile der Bodennährstoffe erforderlich sind.

Eigentliche Gifte.

IV. Die eigentlichen Gifte. Es handelt sich hier um lauter Stoffe, welche unter gewöhnlichen Verhältnissen da, wo Pflanzen wachsen, im Boden und in der Luft überhaupt nicht vorhanden sind, sondern nur bei besonderen Gelegenheiten mit den Pflanzen in Berührung kommen. Man könnte sie passend die eigentlichen Gifte nennen, weil sie wohl alle darin übereinkommen, daß sie nicht so wie die vorgenannten Stoffe nur indirekt, nämlich deshalb schädlich sind, weil ein Zuviel davon gewisse Lebensprozesse hindert, sondern daß sie an und für sich tödlich auf jede mit ihnen in Berührung kommende Pflanzenzelle wirken. In der That sind denn auch die Vergiftungssymptome bei den Pflanzen immer ziemlich dieselben, welches Gift auch die Ursache gewesen sein mag; es sind eben die allgemeinen Todessymptome: Kontraktion des Protoplasmas, also Schwinden des Turgors der Zelle, Zerstörung etwa vorhandenen Chlorophylls unter Zurückbleiben des gelben Xanthophylls, häufig auch Bräunung des getöteten Protoplasmas und wohl auch der Zellmembran, daher an der ganzen Pflanze allmähliche Entfärbung, Gelbwerden oder Bräunung mit nachfolgendem Welken oder Vertrocknen des erkrankten Teiles.

---

[1]) Compt. rend. T. 69, pag. 353, und Landw. Centralbl. 1870, I. pag. 143.

Vergiftungen.

Gelegenheit zu **Vergiftungen der Pflanzen** ist natürlich bei Kulturen im großen nur in solchen besonderen Fällen geboten, wo meist durch Veranlassung des Menschen giftige Substanzen mit den Pflanzen in Berührung kommen. In vielen Fällen geschieht das unbeabsichtigt, wenn nämlich gewisse technische Anlagen unvermeidlich Substanzen produzieren, welche in die Luft, oder in die Gewässer, oder in den Boden, oder in den Dünger gelangen und für die daselbst wachsenden Pflanzen von schädlicher Wirkung sind. Aber es kommt auch vor, daß wir absichtlich giftige Stoffe mit den Pflanzen in Berührung bringen. Denn es gehören hierher auch die Fälle, wo gewisse Gifte angewendet werden, um schädliche Insekten zu töten. Gerade in der neueren Zeit wird eine Menge insekticider Mittel empfohlen, mit welchen Pflanzen bespritzt, beziehentlich bestreut werden sollen, um Blattläuse, Raupen und dergl. Pflanzenbeschädiger, auch wohl um parasitische Pilze zu vertilgen. Es handelt sich aber dabei meistens um Substanzen, die, wenn sie Insekten töten, auch den Pflanzen sehr schädlich sind, so daß also durch Anwendung solcher Mittel leicht Vegiftungen an unsern Kulturpflanzen veranlaßt werden.

Art der Giftwirkung.

Es ist seitens verschiedener Forscher auch über die Physiologie der Giftwirkungen nachgedacht worden, d. h. man hat sich die Frage gestellt, auf welchen näheren Einwirkungen der giftigen Substanz auf die Bestandteile der lebenden Zelle die Vergiftung beruht. In dieser Beziehung hat namentlich **Conwentz**[1]) gezeigt, daß man zwei verschiedenartige Einwirkungsweisen schädlicher Stoffe von vornherein zu unterscheiden hat. Bei gewissen Stoffen ist es nur die schon oben behandelte schädliche Wirkung einer zu hohen Konzentration (S. 303), also nicht die chemische Natur des Stoffes selbst, welche den Tod der Zellen zur Folge hat. Dahin gehören z. B. Zucker, Glycerin, viele Salze, wie z. B. salpetersaures Kali ꝛc. Einigermaßen konzentrierte Lösungen solcher Stoffe wirken durch Diosmose wasserentziehend auf die Zellen, infolgedessen das Protoplasma sich mehr oder weniger zusammenzieht, was man als **Plasmolyse** bezeichnet. Dieser Zustand ist an sich nicht tödlich; erreicht er keinen übermäßigen Grad und dauert er nicht über eine gewisse Zeit an, d. h. wird den Zellen wieder gewöhnliches Wasser zugeführt, so tritt der normale Zustand wieder ein und die Zelle bleibt am Leben. Ist der Wasserverlust durch Plasmolyse aber sehr stark oder dauert er zu lange, so ist dies für das Protoplasma tödlich; letzteres nimmt seinen ursprünglichen Zustand nicht wieder an und stirbt nun unter den erwähnten Symptomen ab. Dieser Wirkung gegenüber steht die wesentlich andere, welche durch Stoffe wie freies Alkali, freie Säuren, ferner Blausäure, Strychnin, Morphium ꝛc., Kampfer, Terpentinöl und andre ätherische Öle, Äther, Alkohol ꝛc. hervorgebracht wird. Nach den mit diesen Stoffen von **Conwentz** an Cladophora-Zellen angestellten Beobachtungen ist zwar äußerlich die Wirkung ebenfalls meistens die, daß das Protoplasma kontrahiert und mehr oder weniger gebräunt wird, aber es

[1]) Bot. Zeitg. 1874, Nr. 26 u. 27.

tritt hier selbst bei sofortigem Wiedereinsetzen in Wasser nicht wieder der normale Zustand, sondern stets der Tod der Zelle ein. Wir haben also hier Stoffe vor uns, welche durch ihre chemischen Eigenschaften selbst auf das Protoplasma eine lebenvernichtende Wirkung ausüben; doch ist uns über die Art dieser Vergiftung etwas Näheres nicht bekannt. Conwentz zeigte, daß diejenigen der oben genannten giftigen Flüssigkeiten, welche kein Wasser enthalten, wie Terpentinöl und Äther, augenblicklich tödlich wirken, daß dagegen aus wässrigen Lösungen giftiger Stoffe das Protoplasma anfangs Wasser aufzunehmen vermag und die Vegetabilien sich eine Zeit lang völlig frisch und gesund befinden; erst später nehmen sie das Gift auf, und damit tritt die tödliche Wirkung ein. So wurden an Algenfäden durch Einlegen in eine 10 prozentige Lösung von salpetersaurem Kali die oben erwähnte an sich nicht tödliche Kontraktion des Protoplasma hervorgerufen, darauf wurden sie abgetrocknet und in Kampferwasser gebracht; das Protoplasma dehnte sich wieder völlig aus und behielt 1—2 Stunden hindurch sein frisches Aussehen, dann erst machte sich die tödliche Wirkung des Kampfers durch Kontraktion des Protoplasma geltend. Ganz ähnliche Einwirkungen zeigten sich auch bei andern der genannten Gifte in wässerigen Lösungen. Diese Beobachtungen dürften von Wert sein für die Beurteilung des Verhaltens der Pflanzen manchen Giften gegenüber, besonders des Umstandes, daß größere Pflanzen oft keinen bemerkbaren Schaden erleiden, trotzdem daß sie nachweislich nicht unerhebliche Mengen giftiger Stoffe aufnehmen. In diesem Falle ist daran zu denken, daß viele in Wasser lösliche Gifte durch den Transpirationsstrom im Gefäßsystem durch den ganzen Pflanzenkörper aufsteigen können, wobei die gelösten giftigen Stoffe nicht notwendig in lebende Zellen einzutreten brauchen. Auf diesem Wege gelangen aber diese Stoffe in die Blätter, werden hier angesammelt und durch den natürlichen Blattfall wieder ausgeschieden. Diesem Gedanken hat besonders Gaunersdorfer[1]) Ausdruck verliehen.

Es liegt auf der Hand, daß man von vornherein, ohne nähere Untersuchung von keinem der zahlreichen als Gifte erkannten Stoffe sagen kann, um welche der beiden im Vorangehenden charakterisierten Einwirkungen es sich handelt. In dieser Beziehung ist daher die Lehre von den Giften noch sehr unvollkommen. Eine sehr reichhaltige Zusammenstellung derjenigen Stoffe, welche giftige Wirkung auf die Pflanzen ausüben, ist zuerst von Decandolle[2]) gegeben worden, woran sich in der neueren Zeit noch manche spezielleren Angaben angeschlossen haben, die wir alle unten im einzelnen anführen. Bei der Ermittelung der giftigen Wirkung ist man meistens so verfahren, daß die Pflanzen mit ihren Wurzeln in solche Lösungen eingesetzt oder damit begossen oder bespritzt wurden. In gewissen Fällen will man dann auch die angewandten Stoffe nach dem Versuche in den getöteten Pflanzen selbst gefunden haben, Angaben, die jedoch nach neueren Versuchen zum Teil mit Vorsicht aufzunehmen sind.

Gifte als vorteilhafte Reizmittel.

Nicht unerwähnt darf bleiben, daß man unter gewissen Umständen manchen giftigen Stoffen analog ähnlicher Wirkungen auf den tierischen Organismus, die Eigenschaft eines Stimulans oder Reizmittels zugeschrieben

[1]) Das Verhalten der Pflanze bei Vergiftungen, speziell durch Lithiumsalze. Landwirtschaftl. Versuchsstationen 1887, pag. 171.

[2]) Physiologie végétale III, pag. 1324 ff.

hat, durch welches die Pflanze angeblich zu erhöhter Lebensthätigkeit angeregt wurde. Hierbei sind sicher Irrtümer mit vorgekommen, so hinsichtlich des Kampfers und andrer Stoffe, die allerdings für den tierischen Organismus Reizmittel sind, von manchen aber früher auch für solche den Pflanzen gegenüber gehalten wurden. Letzteres ist von Göppert[1]) und besonders von Conwentz (l. c.) widerlegt worden, wie aus den vorangehenden Zeilen zu entnehmen ist. Dagegen ist an einer solchen Reizwirkung des Kupfervitriols auf die höheren Pflanzen jetzt nicht mehr zu zweifeln. Schon wiederholt ist versichert worden, daß Samen, die mit einer schwachen Kupfervitriollösung behandelt worden sind, besser und in größerer Anzahl keimen. Diese Angaben mögen noch der Bestätigung bedürfen. Kürzlich ist aber der Beweis erbracht worden, daß infolge des Bespritzens der grünen Blätter mit Kupfervitriol-Kalkbrühe die Pflanzen in einer ganzen Reihe von Lebensthätigkeiten gekräftigt werden, worüber unten beim Kupfer das Nähere zu finden ist.

A. Giftige Gase.

Schweflige Säure.

1. Schweflige Säure. Dieses Gas ist der giftige Bestandteil bei der schädlichen Wirkung des Hüttenrauches und des Steinkohlenrauches auf die Vegetation. Natürlicherweise ist der Hüttenrauch an diesem Gase besonders reich, aber auch im Steinkohlenrauch kann, wenn schwefelhaltige Steinkohlen gebrannt werden, schon soviel schweflige Säure enthalten sein, daß eine beständige Produktion solchen Rauches die benachbarten Pflanzen beschädigt. Wenn Braunkohlen und Torf Schwefelkies enthalten, so ist der Rauch dieser Feuerungsmaterialien ebenfalls giftig. Weniger gefährlich ist der Rauch der Kalköfen, weil die schweflige Säure vom Kalk zurückgehalten wird, ebenso der Rauch der Ziegelöfen, da der Thon häufig alkalische Beimengungen enthält.

In Gegenden, wo Hütten betrieben werden, ist es eine gewöhnliche Erscheinung, daß Acker-, Wiesen- und Waldbestände, welche im Bereiche der Ausbreitung des Hüttenrauches liegen, vernichtet werden. Der Rauch großer Schornsteine hinterläßt, wenn er sich in Thälern hart an eine bewaldete Thalwand anlehnt, daselbst oft deutliche Spuren von Zerstörung. Die beständig mit Kohlendunst durchsetzte Luft großer Städte ist wohl auch die Ursache des Mißratens solcher Pflanzen daselbst, welche besonders empfindlich gegen schweflige Säure sind, wie namentlich die Coniferen. Es ist hauptsächlich durch Stöckhardt's[2]) Morren's[3]) und

---

[1]) Einwirkung des Kampfers auf die Vegetation. Verhandl. d. Ver. z. Beförd. d. Gartenbaues. Berlin 1829. — De acidi hydrocyanici in plantas commentatio. Breslau 1827, pag. 45.

[2]) Chemischer Ackersmann, 1863, pag. 255; 1872, II. pag. 111. — Tharander forstl. Jahrbuch. XXI. 1871, pag. 218 ff.

[3]) Recherches expérimentales pour déterm. l'influence de certains gaz. industriels etc. London 1866.

Schröder's[1]) Untersuchungen nachgewiesen worden, daß das Wirksame hierbei die im Rauche enthaltene schweflige Säure ist. Ersterer zeigte, daß der Ruß, den manche für den wahren Feind hielten, unschädlich ist, selbst dann, wenn die kleinen Kohlenteilchen als schwarzer Überzug auf den Blättern sich absetzen, daß es sich also nur um die gasförmigen Verbrennungsprodukte handeln kann, welche der Rauch enthält. Unter diesen sind, abgesehen vom Chlor, von welchem unten speziell die Rede ist, nach des Genannten experimentellen Prüfungen die Dämpfe von Arsen, Zink und Blei, an die man beim Hüttenrauch denken könnte, in den Mengen, in welchen sie hier vorkommen, ohne merkbaren schädlichen Einfluß. Dagegen ist die schweflige Säure, welche im Rauche enthalten ist, für die Pflanzen eines der heftigsten Gifte, während die Verbrennungsprodukte schwefelfreier Steinkohlen nachgewiesenermaßen für die Pflanzen unschädlich sind.

Nach Stöckhardt ist für junge Fichten schon eine Luft, welche nur ein Milliontel ihres Volumes schweflige Säure enthält, in 60 Tagen tödlich, für Rotbuche und Spitzahorn erst eine solche mit $^1/_{10000}$ schwefliger Säure. Ulme, Esche und Vogelbeere sollen noch weniger empfindlich sein. Die ersten Zeichen der Erkrankung traten an Kartoffeln, Klee, Hafer und verschiedenen Gräsern unter Welkwerden und Bräunung ein, wenn dieselben zweimal der 2stündigen Einwirkung einer Luft mit $^1/_{40000}$ Volumenteil jenes Gases, ebenso wenn sie 15 bis 20 mal einer Luft mit $^1/_{60000}$ schwefliger Säure ausgesetzt wurden. Genaueres über die Wirkung des Gases ist durch Schröder's Untersuchungen ermittelt worden, welche folgende Resultate ergeben haben. Die schweflige Säure wird von den Blattorganen der Laub- wie der Nadelhölzer aufgenommen und zum größeren Teile hier fixiert; zum geringeren dringt sie in die Blattstiele und Zweige ein. Die Aufnahme durch die Pflanze konnte noch in einer Luft, welche $^1/_{5000}$ ihres Volumens an schwefliger Säure enthielt, nachgewiesen werden. Auch fand König[2]) bei Haferpflanzen, die durch die Einwirkung von schwefliger Säure erkrankt waren, in Prozenten der Asche an Schwefelsäure im Stroh ein Plus von 17,22, in den Körnern ein solches von 6,67. Gleichsinnige Angaben macht Fricke[3]). Die Symptome der Vergiftung bestehen im allgemeinen in Welkwerden, mehr oder weniger Bräunung und endlichem Absterben der Blätter. Die Ursache des schädlichen Einflusses kann wenigstens zum Teil in der Benachteiligung der Transpiration und Stockung der normalen Wassercirkulation gesucht werden. Denn es wurde von Schröder nachgewiesen, daß die von schwefliger Säure getroffenen Pflanzen die Fähigkeit, normal zu transpirieren, verloren und daß die Störung der Wasserverdunstung um so größer war, je größere Mengen schwefliger Säure einwirkten. Bei Spitzahorn und Rotbuche wurde, wenn die Blätter reichliche Wasserzufuhr erhielten, eine eigentümliche Nervaturzeichnung der Blätter

---

[1]) Landwirtsch. Versuchsstationen 1872, pag. 321 ff; 1873, pag. 447 ff. und 1879. — Schröder und Reuß, die Beschädigungen der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschäden. Berlin 1883. — Vergl. auch Hasenclever, Über die Beschädigung der Vegetation durch saure Gase. Berlin 1879.

[2]) Biedermann's Centralbl. 1885, pag. 418.

[3]) Landw. Versuchsstationen 1887, pag. 277.

beobachtet, indem das Mesophyll der unmittelbaren Umgebung der Nerven hellgrün wurde und sich von dem übrigen dunkleren Blattgewebe sehr deutlich abhob, was sich daraus erklärte, daß die den Nerven anliegenden Teile sich übermäßig mit Wasser füllen, die den Nerven weiter abliegenden aber kein Wasser aufzunehmen vermögen. Das Gas wird von den Blättern nicht durch die Spaltöffnungen, sondern gleichmäßig durch die ganze Blattfläche aufgenommen und sogar von der Oberseite in ebenso großen Mengen wie von der spaltöffnungsreichen Unterseite. Aber dieselbe Menge schwefliger Säure, welche von der Unterseite eines Laubblattes absorbiert wird, desorganisiert das ganze Blatt in höherem Grade, als wenn die gleiche Aufnahme durch die obere Fläche erfolgt, was sich in Verbindung mit dem oben Gesagten daraus erklärt, daß diese Fläche vorherrschend diejenige ist, durch welche die Transpiration stattfindet. Unter sonst gleichen Verhältnissen absorbiert die gleiche Blattfläche eines Nadelholzes weniger schweflige Säure aus der Luft als die eines Laubholzes. Dem entspricht auch, daß ein Nadelholz bei gleicher Menge schwefliger Säure noch nicht sichtbar alteriert wird, wo sich eine deutliche Einwirkung bei einem Laubholz bereits zeigt. Trotzdem leiden in den Rauchgegenden die Nadelhölzer mehr als die Laubhölzer, was zum Teil wohl auch damit zusammenhängt, daß sie wegen der längeren Dauer der Nadeln auch der schädlichen Einwirkung länger preisgegeben sind und daß bei ihnen die Fähigkeit, einen einmal erlittenen Schaden durch Reproduktion der Belaubung wieder auszugleichen, eine verhältnismäßig geringere ist. Licht befördert die schädliche Einwirkung der schwefligen Säure, während Abwesenheit von Licht die Pflanzen zum Teil schützt. Auch Wasser, welches sich auf den Blättern befindet, unterstützt die Schädigung; Trockenheit der Blätter schützt dieselben zum Teil. Damit steht die Erfahrung im Einklange, daß die Rauchschäden bei starkem Tau, während des Regens und unmittelbar nachher größer sind als ohne diese Niederschläge. Da die schweflige Säure bei Gegenwart von Wasser sich leicht zu Schwefelsäure oxydiert und da auch der Schnee in den Städten, wenn er längere Zeit auf den Bäumen lagert, viel schweflige Säure und Schwefelsäure ansammelt, so ist auch die Wirkung der letzteren auf die Blattorgane von Schröder geprüft worden. Dieselbe hat ebenfalls einen schädlichen Einfluß und bringt ähnliche Erscheinungen hervor, wie jene. Wirken äquivalente Mengen von Schwefelsäure und schwefliger Säure auf die Blätter, so wird der Schwefelsäuregehalt der Trockensubstanz bei Nadeln und Blättern durch beide fast in gleicher Weise erhöht. Die Giftwirkungen der schwefligen Säure sind dabei aber viel intensiver als diejenigen, welche durch die Schwefelsäure hervorgebracht werden, wonach zu vermuten ist, daß die Vergiftung durch schweflige Säure auf die chemischen Eigenschaften dieses Gases selbst, nicht oder nur zum Teil darauf zurückgeführt werden muß, daß die in die Blätter eingedrungene schweflige Säure dort zur Bildung eines schädlichen Übermaßes von Schwefelsäure Veranlassung giebt.

Man verhütet jetzt die Beschädigungen durch den Hüttenrauch dadurch, daß man die Schwefelgase entweder in Bleikammern auffängt oder durch angefeuchteten Kalk oder durch Kanäle leitet, auf deren Sohle sich fließendes Wasser bewegt, wodurch die schweflige Säure zu Schwefelsäurehydrat oxydiert und dieses absorbiert wird.

Leuchtgas.

2. **Leuchtgas.** Wenn aus den Röhren von Gasleitungen Leuchtgas in den Boden ausströmt, so können dadurch in der Nähe stehende Pflanzen, also besonders Bäume in Alleen und Promenaden, wo Gaslaternen angebracht sind, beschädigt werden.

Kny[1]) hat dies zuerst durch Versuche nachgewiesen; er ließ vom Juli an täglich 380, beziehentlich 418,5 Kubikfuß Leuchtgas in den Boden ausströmen, und im September zeigte sich der Anfang des Welk- und Gelbwerdens der Blätter bei Evonymus europaea, Ahorn, Ulme und Linde. Ziemlich derselbe Erfolg wurde an einer Linde erzielt, zu welcher täglich nur 52,5 Kubikfuß Gas strömte. Im nächsten Frühjahre ließen die Pflanzen mit Ausnahme der Linden kein Lebenszeichen mehr erkennen; ihr Holz war dürr, der Cambiumring vertrocknet. Die Linden belaubten sich zwar wieder, zeigten aber ebenfalls das Cambium schon vertrocknet. Ähnliche Resultate hat Böhm[2]) erhalten. Stecklinge von Bruchweide, welche in Wasser gesetzt wurden, in welches Leuchtgas einströmte, trieben nur kurze Wurzeln und starben in den Knospen bald nach Entfaltung derselben ab, während die Zweige bis nach Aufzehrung der Reservenährstoffe, nämlich bis nach 3 Monaten frisch blieben; die Stärke war verschwunden, in den Gefäßen des Holzes hatten sich Thyllen gebildet, welche sie für Luft unwegsam machten. Auch Topfpflanzen von Fuchsia fulgens und Salvia splendens, in deren Erde Leuchtgas (25 bis 30 Gasblasen in der Minute) geleitet wurde, starben zum Teil in 4 Monaten. Erde, welche infolge sehr langer Durchleitung von Leuchtgas mit solchem imprägnirt ist, wirkt giftig, auch wenn keine weitere Zuleitung erfolgt; die Keimwurzeln der in solche Erde ausgesäeten Samen von Cucurbita, Brassica oleracea. Helianthus annuus, Lepidium sativum, Vicia faba und Mais blieben sehr kurz und verfaulten bald, und eine hineingesetzte Dracaena zeigte nach 10 Tagen die Blätter vertrocknet und die Wurzeln abgestorben. An diesem Resultate wurde selbst dann nichts geändert, wenn durch solche Erde täglich 28—29 Liter atmosphärische Luft gesaugt wurden. Über die Wirkungskraft des Leuchtgases sind noch weitere Versuche von Späth und Meyer[3]) angestellt worden, welche ergeben, daß Platanen, Silberpappeln, Robinien, Ahorn, Roßkastanien &c. mit Ausnahme der Linden, deren Knospen aber gleichwohl später nicht austrieben, nach 4½ Monaten getötet waren, wenn täglich 0,772 cbm Gas auf eine Fläche von 14,19 qm geleitet wurden, daß sogar ganz geringe Mengen, wie 0,0154 bis 0,0185 cbm täglich auf 14,19 qm, die selbst durch den Geruch nicht mehr wahrgenommen werden, schädlich sind, und daß zur Zeit der Winterruhe die Zufuhr von Leuchtgas weniger schadet als während der Zeit des Wachstums. Welchen der zahlreichen Bestandteile des Leuchtgases die giftige Wirkung zuzuschreiben ist, weiß man nicht, wahrscheinlich sind sie unter den verschiedenen schweren Kohlenwasserstoffen und den Verunreinigungen zu suchen. Offenbar handelt es sich um eine direkt giftige Wirkung. Kny fand die fingerdicken Wurzeln der dem Leuchtgas ausgesetzten Linden eigentümlich blau gefärbt und die Färbung auf dem Querschnitt von der Mitte gegen die Peripherie hin fort-

---

[1]) Sitzungsber. d. Gesellsch. naturf. Freunde zu Berlin, 20. Juni 1871.

[2]) Sitzungsber. d. Wiener Akad. d. Wissensch., 16. Okt. 1873.

[3]) Landwirtsch. Versuchsstationen 1873, pag. 336.

schreitend, was dafür zu sprechen scheint, daß das Gas mit den Nährstofflösungen am fortwachsenden Wurzelende, nicht an der Rinde der älteren Wurzeln eingedrungen war. Daß das häufige Absterben der Alleebäume in großen Städten mit durch das Leuchtgas verursacht wird, ist hiernach nicht zu bezweifeln. Böhm (l. c.) empfiehlt daher das schon anderweit vorgeschlagene Mittel, die Gasleitungsröhren in ziemlich weite, mit Abzügen in die Laternenpfähle versehene glasierte Thonröhren oder Eisenröhren einzulegen.

Nach Lackner[1]) soll auch der Aufenthalt in einem Zimmer, in welchem Leuchtgas verbrannt wird, für gewisse Pflanzen, besonders Camellien, Azaleen und Epheu, sehr schädlich sein, während Palmen, Dracänen und andre Pflanzen darin nicht leiden. Es wäre festzustellen, ob es sich hierbei um eine Vergiftung durch unverbranntes Leuchtgas oder durch halbverbrannte Kohlenwasserstoffe oder durch die Bereicherung an Kohlensäure handelt, welche beim Brennen von Leuchtgas größer als bei jedem andern Beleuchtungsmaterial ist (nach Zoch[2]) erzeugt ein mehrstündiges Brennen einer einzigen Gasflamme in einem mittelgroßen Wohnraume 3 Promille Kohlensäure).

Andre giftige Gase.

3. Verschiedene andre giftige Gase. Es giebt noch eine Anzahl andrer Gase, welche für das Pflanzenleben direkt schädlich wirken. Zu diesen darf man selbstverständlich diejenigen nicht rechnen, welche die Pflanzen nicht direkt angreifen, sondern wo nur der Mangel an Sauerstoff die Ursache des Absterbens ist, welches eintritt, wenn die Pflanzen in eine nur oder größtenteils aus dem betreffenden Gase bestehende Luft gebracht werden. Als solche indifferente (nicht giftige) Gase sind schon von Saussure das Stickstoffgas, Wasserstoffgas und Kohlenoxydgas erkannt worden. Zu diesen gehört auch nach Borscow[3]) das Stickstoffoxydul (Lustgas), welches in reinem Zustande eine direkt schädliche Wirkung nicht zeigt. Auch die Kohlensäure dürfte dahin gehören (vergl. S. 307). Als wirklich giftige Gase dagegen, d. h. solche, welche direkt durch ihre chemische Wirkung die Pflanze afficieren und töten, sind außer den unter 1 und 2 genannten noch folgende zu betrachten.

Stickstoffoxyd

a. Das Stickstoffoxyd wirkt nach Borscow's eben citierten Mitteilungen, wenn es dem Stickstoffoxydul beigemengt ist, tödlich unter Resorption des Stärkemehls und Desorganisation des Chlorophylls (Phaseolus und Urtica urens).

Ammoniakgas.

b. Ammoniakgas. In einigermaßen größerer Menge sind amoniakalische Gase den Pflanzen sehr schädlich; in der gewöhnlichen Luft, selbst in der Nähe von Ställen, sind ja nur unwirksame Spuren davon vorhanden.

---

[1]) Monatsschr. d. Ver. z. Beförd. d. Gartenbaues in d. Kgl. Preuß. Staaten. 1873, pag. 22.

[2]) Zeitschrift für Biologie 1867, pag. 117.

[3]) Mélanges biolog. d Bull. de l'acad. imp. d. sc. de St. Pétersbourg. T. VI. pag. 451. — Vergl. auch Detmer, Biedermann's Centralbl. 1882, pag. 675.

Einen Fall, wo wahrscheinlich kohlensaures Ammoniak das Wirksame war, giebt Sorauer[1]) an, wonach in einem Glashause, bei dessen Errichtung die Mauern eines Pferdestalles teilweise benutzt worden waren, im Herbst, als mit der Heizung des Gewächshauses begonnen wurde, die Blätter der Pflanzen abstarben und abfielen, und selbst hartblättrige Pflanzen, wie Aucuba, Viburnum Tinus, Dracaena ꝛc. schwarze Blätter bekamen.

Chlor.

c. Daß das Chlor energisch bleichend und tödlich auf die Pflanzen wirkt, ist allbekannt. Und da es schon in sehr kleinen Mengen giftig ist, so könnte die schädliche Wirkung des Steinkohlenrauches außer von schwefliger Säure auch von Chlor herrühren, denn in der That enthalten Steinkohlen neben Schwefel auch Chlor, und Meinecke[2]) hat Chlor in den Hochofengasen nachgewiesen.

Salzsäuredämpfe.

d. Salzsäuredämpfe bringen nach König[3]) an den Nadeln und Blättern der Bäume dieselben Krankheitserscheinungen hervor, wie die schweflige Säure. In der Asche solcher erkrankter Eichenblätter fand sich 3,97 bis 4,28 Prozent Chlor, während gesunde Eichenblätter nur ca. 2 Prozent davon enthielten. Auch Fricke[4]) fand in den kranken Gartenpflanzen, die in der Nähe einer chemischen Fabrik wuchsen, deren Gase Salzsäure und Schwefelsäure enthielten, einen bedeutend höheren Gehalt an Chlor und Schwefelsäure; z. B. beim Weinstock in 1000 Teilen Asche 8,27 Chlor und 10,75 Schwefelsäure gegenüber 1,92, bezw. 4,77 in gesunden Pflanzen.

Flußsäuredämpfe.

e. Flußsäuredämpfe, wenn sie in die Luft gelangen, bringen namentlich bei feuchtem Wetter Rotwerden und Absterben der Blätter hervor, wie man an Fichten, Kiefern, Lärchen und Akazien in der Nähe einer Phosphoritfabrik beobachtete, in welcher der Fluorcalcium enthaltende Phosphorit mit Schwefelsäure aufgeschlossen wurde und daher Flußsäuredämpfe entwickelt wurden.[5])

Schwefelwasserstoff und Schwefelkohlenstoff.

f. Die Giftwirkungen des Schwefelwasserstoffs und Schwefelkohlenstoffs hat Morren[6]) untersucht; der erstere äußert seinen schädlichen Einfluß schon in einer Beimischung von $^{1}/_{1300}$ des Luftvolumens; er färbt das Blatt gänzlich olivengelb; der Schwefelkohlenstoff aber scheint die Blätter auszutrocknen, ohne ihre grüne Farbe wesentlich zu ändern.

Vulkanische Exhalationen.

g. Über die Einwirkung der vulkanischen Exhalationen auf die Pflanzenwelt sind bei einem Ausbruch auf der Insel Santorin nähere Beobachtungen gemacht worden.[7]) Die Verheerungen an den Pflanzen zeigten sich in großer Ausdehnung, am meisten an den höheren Punkten der Insel, in geringerem Grade an den niedrigeren Orten. Die Affektionen waren je nach Arten verschieden: manche Pflanzen (z. B. Asphodelus ramosus) waren ganz verwelkt und getötet; andre hatten schwarze Flecken auf den Blättern, teils oberflächlich, teils in der ganzen Dicke des Blattes;

---

[1]) Handbuch d. Pflanzenkrankheiten. 2. Aufl., 1886, I. pag. 524.

[2]) Dingler's Journal 1875, pag. 217.

[3]) Biedermann's Centralbl. 1885, pag. 418.

[4]) Landwirtsch. Versuchsstationen 1887, pag. 277.

[5]) Zeitschrift f. Pflanzenkrankheiten, II. Band 1892, pag. 255.

[6]) Recherches expérimentales pour déterm. l'infl. de certains gaz. industr. etc. London 1866, citiert bei Sorauer, Pflanzenkrankheiten, 1. Aufl. pag. 150.

[7]) Vergl. Flora 1866, Nr. 24.

wieder andere zeigten weiße durchsichtige Flecken mit gelblichem Hofe. Welches die wirksamen Bestandteile der vulkanischen Aushauchungen hierbei sind, ist nicht sicher ermittelt. Letztere bestehen aus Wasserdampf, Schwefelwasserstoff, schwefliger Säure, Schwefel, Kohlensäure, Salzsäure, Borsäure, also meist aus Stoffen, deren schädliche Wirkung erwiesen ist. Doch scheint unter diesen der freien Salzsäure das meiste zugeschrieben werden zu müssen; wenigstens sollen bei denjenigen Ausbrüchen, wo diese Säure nur in geringer Menge, dagegen viel schweflige Säure u. dergl. vorkam, keine solchen Verheerungen stattgefunden haben.

Dämpfe ätherischer Öle.

h. Dämpfe ätherischer Öle in stärkerer Konzentration töten die Pflanzen, oft nachdem sie braune Flecken auf den Blättern hervorgebracht haben. Ebenso wirken Blausäuredämpfe rapid tödlich auf die davon berührten Pflanzenteile; die blauen, violetten und roten Blütenfarben ändern sich dabei meist in weiß oder bräunlich, die weißen und gelben meist nicht; reizbare und periodisch bewegliche Teile werden starr. Auch von sich verflüchtigenden Theerprodukten hat man schädliche Wirkungen auf Pflanzen beobachtet; so in Glashäusern, wo Steinkohlentheer zum Anstrich für das Holzwerk benutzt worden war.[1])

B. Giftige Flüssigkeiten und Lösungen giftiger Stoffe.

Von den unzähligen Stoffen flüssiger Form, welche den Pflanzen schädlich sind, zählen wir hier nur diejenigen auf, welche irgendwie in der Praxis des Pflanzenbaues vorkommen, sowie diejenigen, welche in ihren Giftwirkungen auf die Pflanzen besonders geprüft und untersucht worden sind.

A. Anorganische Verbindungen.

Säuren.

1. Freie Säuren sind, gleichgültig von welcher chemischen Art, sobald sie in einigermaßen größerer Menge vorhanden sind, den Pflanzen nachteilig. Eine sehr schwach saure Reaktion des Bodens oder der Nährstofflösung, wie solche ja sehr häufig unter den normalen Verhältnissen gegeben ist, vertragen jedoch die Wurzeln sehr gut.

Alkalien.

2. Alkalien. Gegen alle alkalisch reagierenden Verbindungen, wie freies Kali, Natron, Ätzkalk, Ammoniak, sowie kohlensaures Kali, Natron und Ammoniak sind die Pflanzen sehr empfindlich. So hat Ebermayer[2]) gefunden, daß schon eine verdünnte Sodalösung von 1,01 sp. Gew. Erkrankung der Wurzeln, Gelb- und Braunwerden der Blätter und Absterben der Pflanzen zur Folge hat. Gelegenheiten zu Vergiftungen durch solche Stoffe sind in der Praxis wohl denkbar. So z. B. wenn stark alkalische Aschen zum Düngen benutzt werden. Einen andern Fall teilt Ebermeyer (l. c.) mit, wo Obstbäume in der Nähe einer Cellulosefabrik braune oder schwarze Blätter bekamen, die in kurzer Zeit abstarben; behufs Rückgewinnung des Natrons aus der benutzten Natronlauge wird der eingedampfte Rückstand derselben zur Zerstörung der organischen Stoffe verbrannt, wobei viel kohlensaures Natron in die Umgebung gelangt.

[1]) Gard. Chronicle 1876, I., pag. 532.
[2]) Centralbl. f. Agrikulturchemie 1877, II., pag. 318.

Arsen.

3. **Arsen** ist schon seit langer Zeit als ein auch für die Pflanzen starkes Gift erkannt worden. Nach den bei Decandolle und andern angeführten Beobachtungen bringt dasselbe, wenn es von den Wurzeln aufgesogen wird, bei Bohnen und andern Kräutern eine Veränderung der grünen Farbe in gelb oder braun hervor, die sich zuerst an den Blattnerven und an dem diesen benachbarten Mesophyll zeigt, dann ein Welkwerden der Blätter, sowie eine Umwandlung der Blütenfarben in braun, gelb oder weiß, bei *Campanula persicifolia* in grün.[1] Auch Fichten, denen man im Boden $^1/_{1000}$ **arseniger Säure** gegeben hatte, erkrankten nach einigen Jahren unter Vertrocknen des Gipfeltriebes und Gelbgrünwerden und allmählichem Vertrocknen der Nadeln von ihrer Spitze aus, wobei sich im Stamm und in den Nadeln nur Spuren, in den Zweigen 0,0010 Prozent der Trockensubstanz arsenige Säure vorfand.[2] Bei Versuchen von Nobbe, Bäßler und Will[3] wurde arsenigsaures Kalium den Nährstofflösungen zugesetzt, in welchen Erbsen, Hafer, Mais, Buchweizen u. a. wuchsen. Das Arsen wurde zwar nur in sehr geringen Mengen von den Pflanzen aufgenommen, bewirkte aber Störungen der Aufsaugungsthätigkeit der Wurzeln, womit Transpirationsstörungen, Verlangsamung des Wachstums und wohl auch gänzliches Absterben verbunden waren; noch eine Gabe von 1 Millionstel brachte merkbare Störungen hervor, und auch schon eine nur 10 Minuten lange Dauer der Einwirkung des Arsens auf Wurzeln genügte, um diesen Erfolg zustande zu bringen. Dagegen wirkte nach Knop[4] **Arsensäure** (in 0,05 gr pro Liter) als Kalisalz auf Mais nicht giftig.

Quecksilbersalze.

4. **Quecksilbersalze.** Speziell vom Quecksilberchlorid ist konstatiert worden, daß, wenn eine Lösung davon den Wurzeln dargeboten wird, Bohnenpflanzen getötet werden unter Verwelken und Dürrwerden der Blätter und unter Gelbfärbung des Stengels. Rosen starben ebenfalls ab, unter Auftreten brauner, sich allmählich verbreiternder Streifen längs der Blattnerven.

Kupfersalze.

5. **Kupferverbindungen** nehmen bezüglich ihrer Wirkungen auf die Pflanzen ein besonderes Interesse in Anspruch, seit man dieselben als Gegenmittel gegen die den Pflanzen schädlichen Parasiten, insbesondere gegen parasitische Pilze anwendet. Denn da sie in gewisser Konzentration allgemein auf die Pflanzen giftig wirken, so thun sie das auch gegenüber den Pilzsporen, so daß sie in der That für manche Pilze ein wirksames Zerstörungsmittel sind, worüber bei den Pilzinfektionskrankheiten näheres mitgeteilt werden wird. Bei dieser Verwendung von Kupferverbindungen als Gegenmittel gegen parasitäre Pflanzenkrankheiten können aber selbstverständlich auch die zu schützenden Pflanzen selbst vergiftet werden. Deshalb ist denn auch die Wirkungsweise der Kupferpräparate auf die Pflanzen selbst näher untersucht worden. Besonders handelt es sich um das **Kupfervitriol**, welches man schon seit längerer Zeit als Samenbeize, vorzüglich

---

[1]) Decandolle, l. c, pag. 1328.

[2]) Klien, Chemischer Ackersmann 1875; citiert in Just, bot. Jahresber. 1876, pag. 1241.

[3]) Untersuchungen über die Giftwirkung des Arsen, Blei und Zink im pflanzlichen Organismus. Landwirtsch. Versuchsstationen XXX., Heft 5 u. 6.

[4]) Berichte d. kgl. sächs. Akad. d. Wissensch., Leipzig 1885.

beim Weizen anwendet, um die Entwickelung des Getreidebrandes zu verhüten, weil in der That die Sporen der Brandpilze in einer Lösung dieses Salzes nicht keimen und durch dieselbe getötet werden. Kudelka[1]) hat nun genauer ermittelt, unter welchen Bedingungen auch die Weizenkörner durch eine Kupfervitriolbeize beschädigt werden. Für nicht gequellte, trockne Weizenkörner ist ein 16 stündiges Einbeizen in einer $^1/_2$ prozentigen Kupfervitriollösung, welches genügt, um die an den Körnern haftenden Brandpilzsporen zu töten, unschädlich. Wenn aber angequellte Weizenkörner derselben Behandlung unterworfen wurden, so ergab sich im Keimapparat eine Keimung von 66 Prozent gegenüber einer solchen von 74 Prozent, wenn die Behandlung nur mit Wasser vorgenommen wurde; bei Aussaat der im angequellten Zustande gekupferten Körner 3 cm tief in Erde keimten sogar nur 24 Prozent gegenüber 54 Prozent der nicht mit Kupfersulfat behandelten. Schon ein zweistündiges Einweichen vorher gequellter Körner hatte eine Schwächung der Keimkraft zur Folge; das Prozent der keimungsunfähigen Körner ist größer bei stark gequelltem, kleiner bei schwach gequelltem Weizen. Es hängt dies offenbar damit zusammen, daß eine bereits mit Wasser imbibierte Samenschale Lösungen in kürzerer Zeit eindringen läßt, als eine solche im trocknen Zustande. Auch hat man die Erfahrung gemacht, daß mit Maschinen gedroschenes Getreide etwas leichter durch eine Kupferbeize beschädigt wird, offenbar wegen der kleinen Verletzungen, welche die Schale solcher Körner bekommt, und durch welche die Kupferlösung schneller eindringt.

Wenn Pflanzen aus dem Boden Kupferverbindungen aufnehmen, so wirkt das nach Phillips[2]) giftig. Ob jedoch unverletzte Pflanzen Kupfersalze aufnehmen, ist mir zweifelhaft. Wenigstens ließ sich bei einer von Otto bei mir kürzlich angestellten Untersuchung in Pflanzen, die in Wasserkulturen mit aufgelöstem Kupfersulfat gezogen waren, kein Kupfer nachweisen. Auch in Kartoffelknollen, welche von Pflanzen geerntet waren, die auf dem Acker stark mit Kupfervitriol-Speckstein bestäubt worden waren, konnten wir kein Kupfer entdecken.

Neuerdings hat ein Kupferpräparat große Bedeutung erlangt, nämlich eine Mischung von Kupfervitriol und Kalk, womit die grünen Blätter, besonders der Weinstöcke und Kartoffeln, bespritzt werden, um diese Pflanzen vor den ihnen gefährlichen Peronosporaceen zu schützen. Das Mittel wird in nasser Form angewendet, als sogen. Kupfervitriolkalkbrühe, Bordelaiser Brühe (*bouilli bordelaise*), indem man eine 2- bis 4-prozentige Kupfervitriollösung in Wasser mit Kalk versetzt (2 bis 5 kg Vitriol und etwa ebensoviel gebrannten Kalk auf 100 Liter Wasser). Ein anderes, aber pulverförmiges Präparat, das sogen. Sulfosteatit oder Fostit oder Kupfervitriol-Speckstein, besteht aus pulverisiertem Kupfervitriol, welches nur mechanisch mit Talkerde verdünnt ist und als Pulver aufgestreut wird. Bisher erklärte man sich die vorteilhafte Wirkung dieser Mittel auf die Pflanzen dadurch, daß man annahm, daß die auf die Blätter gelangenden Pilzsporen durch die Berührung mit den Kupfermitteln getötet

[1]) Referat in Just, Jahresber. 1876, pag. 880.

[2]) The absorption of Metallic Oxides by plants. Bot. Centralbl. 1883, Nr. 11, pag. 364.

und dadurch die Blätter vor dem Pilzbefall geschützt werden. Es ist in der That erwiesen, daß die Sporen vieler parasitischen Pilze sehr empfindlich gegen Kupfer sind und durch dasselbe in einer Konzentration und in einer Zeitdauer getötet werden, welche für die höheren Pflanzen unschädlich sind. Aber der günstige Erfolg dieser Mittel beruht auch noch auf etwas anderem, nämlich darauf, daß das Kupfer in diesem Falle auf die höheren Pflanzen wie ein Reizmittel wirkt, durch welches ihre Lebensthätigkeiten gekräftigt werden. Rumm[1]) hatte das zuerst bezüglich des Weinstockes behauptet, indem er namentlich eine Beförderung der Chlorophyllbildung zu bemerken glaubte, ohne jedoch dafür genauere Nachweise und Messungen der beeinflußten Thätigkeiten zu liefern. Durch eine demnächst zu veröffentlichende Untersuchung[2]) haben ich und Krüger an der Kartoffelpflanze den Beweis erbracht, daß die Beeinflussung der Kupferbespritzung sich auf folgende Punkte erstreckt: der Bau des Blattes wird dadurch zwar nicht verändert, aber das letztere ist meist ein wenig dicker und kräftiger; der Chlorophyllgehalt des Blattes wird ein wenig größer; die Assimilationsthätigkeit des Blattes, insofern sie sich in der Bildung von Stärkemehl äußert, wird bemerkbar größer; die Transpiration der Pflanze wird lebhafter, die Lebensdauer des Blattes verlängert sich, der Ertrag an Knollen und die Stärkebildung in den Knollen werden gesteigert. Da in dem Jahre, wo diese Versuche gemacht wurden (1893) die Phytophthora infestans in den Kartoffeln nicht beobachtet wurde, so waren unsre Versuche beweisend für die direkte Wirkung des Kupfers auf die phanerogame Pflanze.

Eine Erklärung der Wirkungsweise des Kupfers ist nicht leicht zu geben. Schon Rumm kam zu der Überzeugung, daß es sich dabei um eine chemotaktische Reizwirkung auf die Pflanze handeln müsse. Es ist nämlich Rumm nicht gelungen nachzuweisen, daß Kupfer ins Innere der so bespritzten Weinblätter eindringt; auch wir haben unter Benutzung empfindlicher Methoden kein Kupfer im Innern der damit bespritzten Kartoffelblätter finden können. Nun ist ja aber auch in der Bordelaiser Brühe keine lösliche Kupferverbindung vorhanden, weil sich unlösliches blaues Kupferhydroxyd und Gips bilden, wenn man Kalk mit Kupfersulfatlösung zusammenmischt. Darum ist auch bei diesem Mittel die ätzende Wirkung, welche das Kupfersulfat leicht auf die Pflanze ausübt, ausgeschlossen, während in dem Sulfosteatit das Kupfersulfat als solches vorhanden ist und zur Wirkung kommt. Wir konnten konstatieren, daß von einer Kupfervitriol-Kalkbrühe, durch welche die Sporen verschiedener Pilze prompt getötet wurden, die abfiltrierte Flüssigkeit chemisch kein gelöstes Kupfer nachweisen ließ, aber auch für die nämlichen Pilzsporen durchaus unschädlich war. Die Wirkung des Kupfers auf die Pflanze beruht hiernach hauptsächlich auf dem Vorhandensein einer ungelösten Kupferverbindung. Die Erscheinung dürfte am nächsten verwandt sein mit derjenigen, welche Nägeli[3]) oligodynamische Wirkung genannt hat. Man beobachtet dieselbe an der Alge Spirogyra, wenn sie in Gläsern mit Wasser sich befindet, in welchem eine Kupfermünze liegt, und selbst dann, wenn vorher eine solche Münze darin gelegen hatte. Nägeli erklärt die

---

[1]) Berichte d. deutsch. bot. Ges. 13. Februar und 27. Juli 1893.

[2]) Vergl. daselbst 20. Januar 1894.

[3]) Denkschr. d. schweizer. naturf. Ges. 1893, ref. in Bot. Zeitg. 1893, Nr. 22.

Erscheinung so, daß eine Bewegung von Kupferteilchen nach der Glaswand hin stattfindet, wo dieselben hängen bleiben, aber auch wieder sich loslösen und auch an die Oberflächen andrer Körper, die sich in der Flüssigkeit befinden, also der Algenzellen, sich hinbewegen können. Zugleich würden wir hiermit die sehr ungleiche Empfindlichkeit der Pflanzenzellen gegen den Kupferreiz erkennen. Spirogyra würde den höchsten Grad der Empfindlichkeit darstellen, welcher sich sogleich in einer tödlichen Wirkung äußert. Auch andre Kryptogamen, jedenfalls viele Pilzsporen, sind in dem Grade emfindlich, daß sich tödliche Wirkung einstellt, obgleich, wie ich an Ustilago Carbo konstatierte, die Berührung mit metallischem Kupfer hier noch nicht tödlich ist. Zu einer vorteilhaften, die Lebensthätigkeiten stimulierenden Beeinflussung würde die Wirkung bei den Phanerogamen, oder wenigstens bei manchen derselben abgeschwächt sein.

Bleisalze.

6. Bleisalze, wenn sie einigermaßen reichlich den Wurzeln geboten werden, wirken tödlich auf die Pflanzen. Doch konnten an einer Fichte, in deren Boden $^1/_{1000}$ Bleioxyd enthalten war, und die eine geringe Menge davon in die Zweige aufgenommen hatte, keine üblen Folgen bemerkt wurden. Nobbe, Bäßler und Will[1]) sahen bei Versuchen mit Erbsen, Hafer 2c., wenn der Nährstofflösung 1 Prozent Blei zugesetzt worden war, den Tod der Pflanzen nach 41 Tagen eintreten. Bedeutend geringere Zusätze zeigten auch entsprechend schwächere Wirkung; die Pflanzen waren dann manchmal von nicht vergifteten nicht zu unterscheiden, in andern Fällen ergab sich aber doch eine geringere Massenproduktion; freilich hatte sich aber auch das Bleinitrat in der Lösung in unlösliches Bleisulfat umgesetzt.

Zinksalze.

7. Zinksalze sind für die Pflanzen ungleich giftiger als Bleisalze, denn Nobbe, Bäßler und Will (l. c.) sahen hier schon nach 3 Tagen dieselben Pflanzenarten sterben, wenn 1 Prozent Zink in Form von Zinknitrat den Nährstofflösungen zugesetzt worden war. Darum sind denn auch die Abflußwässer aus Zinkblendegruben, in denen Zinkvitriol gelöst ist, den Pflanzen sehr schädlich. Nach König[2]) zeigt sich auf Wiesen, die so bewässert werden, deutlich ein Rückgang der Vegetation, allerdings erst nach einer Reihe von Jahren, wenn sich das im Wasser in sehr geringer Menge enthaltene Zink stärker angehäuft hat. Nach demselben Beobachter geht die Vegetation da, wo Zinkerze zufällig verschüttet wurden, ein; dabei enthielten die Gräser, und die verkümmerten Buchen- und Ahornsträucher bis 2,78 Prozent Zink in ihrer Asche; nur die von diesem Schriftsteller „weiße Erzblume" genannte Pflanze erschien noch auf solchen Bodenstellen, obgleich sie 11 bis 15 Prozent Zinkoxyd in ihrer Asche enthalten haben soll. Daß ein gewisser Zinkgehalt im Erdboden von den Pflanzen vertragen wird, beweisen die auf Galmeiboden wachsenden Pflanzen, wo Viola lutea und Thlaspi alpestre in einer besonderen Form wachsen, die als varietas calaminaria beschrieben wird. Eingehender ist die Zinkvergiftung der Pflanzen von Baumann[3]) studiert worden. Danach ist bei Anwendung von Zinkvitriol

[1]) Landwirtsch. Versuchsstationen XXX., Heft 5 u. 6.

[2]) Biedermann's Centralbl. 1879, pag. 564.

[3]) Das Verhalten von Zinksalzen gegen Pflanzen und im Boden. Landwirtsch. Versuchsstationen XXXI., Heft 1, 1884.

in gelöster Form 1 Prozent Zink für manche Pflanzen noch unschädlich, auch Coniferen vertragen noch diese Menge, während Angiospermen schon zu Grunde gingen, wenn 5 mg Zink im Liter enthalten waren. Die Zinkvergiftung macht sich kenntlich dadurch, daß auf den Blättern kleine Flecken von metallglänzender oder rostgelber Farbe erscheinen, die sich zuletzt über die ganze Blattfläche ausbreiten. Bei Ausschluß des Lichtes sollen jedoch die Keimpflanzen durch Zinklösungen nicht beschädigt werden; das gleiche ist auch bei Pilzvegetationen der Fall.

Eisensalze.

8. Eisensalze. Wiewohl das Eisen zu den Nährstoffen der Pflanze gehört, so sind doch einigermaßen größere Mengen von Eisensalzen schädlich. Besonders gilt dies von den Eisenoxydulsalzen, wie schwefelsaures, kohlensaures Eisenoxydul 2c. Wenn solche im Boden entstehen, so oxydieren sie sich zwar an der Luft leicht zu Eisenoxydhydrat, welches die bekannten rostfarbenen Schlammmassen bildet. Diese selbst sind weniger schädlich, aber bei mangelndem Luftzutritt und bei Gegenwart sauerstoffbegieriger organischer Substanzen werden sie leicht wieder zu dem giftigen Oxydul. Nessler[1]) fand das Eisenvitriol schon in 0,05 prozentiger Lösung nachteilig für die Keimung sowie für das Wachstum; ein Zusatz von 0,25 gr Eisenvitriol zu 1700 Liter Erde zeigte schädlichen Einfluß, gleichgültig ab Ammoniak zugesetzt wurde oder nicht. Da das Eisenvitriol vielfach als Desinfektionsmittel angewendet wird, so ist die Gefahr einer gelegentlichen Vergiftung der Pflanzen durch solches naheliegend.

Bei der Moorkultur treten nach Fleischer[2]) nicht selten die schädlichen Wirkungen der sowohl im Moorboden als auch im Untergrundsande enthaltenen Schwefelkiese auf die Pflanzen hervor. Das Schwefeleisen oxydiert sich nämlich an der Luft und das entstehende schwefelsaure Eisenoxydul und die freie Schwefelsäure vergiften die Pflanzen, wenn nicht ausreichend Alkalien oder alkalische Erden vorhanden sind, um die Säure zu binden. Die einzigen Pflanzen, die auf solchen sterilen Stellen der Moordämme bisweilen noch vorkommen, sind Equisetum-Arten. Das beste Mittel zur Beseitigung dieser Übelstände ist der gebrannte und der kohlensaure Kalk, zugleich mit guter Entwässerung.

Lithiumsalze.

9. Lithiumsalze. Wenn Pflanzen in Nährstofflösungen kultiviert werden, denen in einigermaßen beträchtlicher Menge ein Lithiumsalz zugesetzt worden ist, so treten nach Nobbe[3]) intensive Symptome akuter Vergiftung ein. Bei Buchweizen zeigten sich dieselben schon bei der Keimung: ohne daß die geringste meßbare Assimilation stattgefunden hatte, trat frühzeitiger Tod ein, wobei auf den Blattflächen und deren Rändern fahle, später eintrocknende Flecken sich zeigten, ähnlich denen, welche schweflige Säure in Wassertropfen gelöst auf den Blättern hervorbringt. Gaunersdorfer[4]) hat das bestätigt und gezeigt, daß das Lithium mit dem Transpirationsstrom nach aufwärts geschafft und größtenteils in den Blättern abgelagert wird, mit denen es später aus der Pflanze ausgeschieden wird.

Schwefelmetalle.

10. Schwefelmetalle. Diese sind sämtlich wegen ihrer stark reduzierenden Wirkung als sehr schädliche Stoffe für die Pflanzen zu betrachten

---

[1]) Centralbl. f. Agrikulturchemie 1877, II.; pag. 125.

[2]) Landwirtsch. Jahrbücher 1886, pag. 47.

[3]) Landwirtsch. Versuchsstationen XIII. 1871, pag. 374.

[4]) Landwirtsch. Versuchsstationen 1887, pag. 171.

Vom Calciumsulfid haben dies Fithbogen, Schiller und Förster[1]) durch Versuche dargethan. Bezüglich des Schwefeleisens vergleiche man das unter Eisensalzen Gesagte.

Chlormetalle.

11. Chlormetalle. In kleinen Mengen sind die Chloride, wie Chlorkalium, Chlornatrium, Chlorcalcium, wichtige Nährstoffe, weil ja das Chlor zu den notwendigen Nährelementen gezählt werden muß, und Chlorkalium ist sogar ein Düngemittel, um der Pflanze Kali zu geben; auch sind ja in den wichtigen Staßfurter Düngesalzen Chlorverbindungen vorhanden. Grade deshalb darf man nicht vergessen, daß den Pflanzen mit wenigen Ausnahmen einigermaßen größere Mengen von Chlormetallen giftig sind, so daß also ein Zuviel von jenen Düngemitteln leicht schädlich werden kann. Auch unter gewissen andern Umständen kommen Beschädigungen der Vegetation durch Chlornatrium vor. Eine Ausnahmestellung nehmen in dieser Beziehung die eigentlichen Salzpflanzen ein, d. h. die besonderen Pflanzenarten, welche nur am Meeresstrande und an den Ufern der Salzseen wachsen, also in ihrem Vorkommen an das Chlornatrium gebunden sind. Für sie ist sogar eine konzentrierte Kochsalzlösung unschädlich, denn an ihrem Standort ist der Boden oft von auskrystallisiertem Kochsalz überzogen. Batalin[2]) hat dies bestätigt, indem er Salsola-Arten kultivierte unter Begießen mit fast gesättigter Kochsalzlösung, was diesen Pflanzen nichts schadete. Alle Nicht-Salzpflanzen sind aber gegen Kochsalz sehr empfindlich. Nach Neßler[3]) wirkt dasselbe entschieden schädlich auf Keimung und Wachstum. An Raps-, Klee- und Hanfsaaten zeigte sich die nachteilige Wirkung schon bei einer Konzentration von 0,5 Prozent, am Weizen bei 1 Prozent. Eine konzentrierte Lösung auf Blätter äußerlich aufgetropft hat eine intensiv schädliche Wirkung. Ich brachte solche Tropfen auf junge Blätter von Acer platanoides und erwachsene Blätter von Primula officinalis; nach einer Stunde hatten die betropften Stellen ein mißfarbiges, durchscheinendes, welkes Aussehen bekommen; sie waren getötet. Später, als die Versuchsblätter des Ahorn erwachsen waren, zeigten sie immer noch die getöteten Stellen, um die sich die Blattmasse faltig zusammengezogen hatte, weil sie noch im Flächenwachstum fortfuhr, aber durch die angrenzenden toten Partien in der Ausbreitung gehindert wurde. Auf völlig erwachsene, also härtere Ahornblätter getupft hinterließ dagegen dieselbe Kochsalzlösung keine wahrnehmbare Beschädigung. Eine konzentrierte Salpeterlösung brachte dagegen weder auf jungen noch auf alten Blättern von Acer platanoides, Primula, Sempervivum und Gräsern eine schädliche Wirkung hervor. Ich habe mit jenen Versuchen bewiesen, daß die Beschädigungen der Pflanzen durch Seewinde an den Meeresküsten vom Chlornatriumgehalt des durch den Sturm mitgeführten Seewassers herrühren müssen. Es ist am Seestrande eine gewöhnliche Erscheinung, die man z. B. an der Ostsee, auf Rügen ꝛc. beobachtet, daß an den dem Meere zugekehrten Waldrändern die Blätter der Bäume sowie der niedrigeren Pflanzen übersäet sind mit zahllosen kleinen schwarzen oder braunen toten Spritzfleckchen, deren Entstehung nur auf die angedeutete Weise zu erklären ist. Schon Focke[4])

[1]) Landwirtsch. Jahrbücher XIII. 1884, Heft 4 u. 5.

[2]) Regels Gartenflora, 1876, pag. 136.

[3]) Centralbl. f. Agrikulturchemie 1877, II., pag. 318.

[4]) Abhandl. d. naturw. Ver. zu Bremen II. 1871, pag. 412, u. III. 1872.

hatte die Vermutung ausgesprochen, daß an den Beschädigungen der Holzpflanzen in den deutschen Küstenprovinzen neben der mechanischen Gewalt des Sturmes auch der Salzgehalt der Seewinde schuld sei. Noch stärkere Beschädigung ist zu erwarten, wenn die hinter den Dünen gelegenen Bestände durch Springfluten überflutet werden. Das haben die Versuche von R. Hartig und Schütze[1]) bestätigt. Es wurden Saat- und Pflanzbeete der Kiefer, Fichte, Akazie und Rotbuche einmal mit einem Quantum von 14 Liter Kochsalzlösung auf 1 qm Bodenfläche begossen. Es starben die 1- und 3-jährigen Fichten sowohl durch Ostseewasser (2,7 Prozent Kochsalz) als auch durch Nordseewasser 3,47 Prozent), 6 jährige Fichten nur durch Nordseewasser. Einjährige Akazien starben größtenteils auch durch Ostseewasser, dreißigjährige Rotbuchen bekamen nur abgestorbene Blattspitzen. Ferner kommen Vergiftungen der Pflanzen vor durch Soolleitungen, sobald durch Undichtigkeit derselben in den umgebenden Boden Kochsalzlösung sickert. Die hierbei eintretenden Vergiftungen sind von Andrée[2]) beschrieben worden. Danach erkrankten am stärksten die Tiefwurzler und am schnellsten die Pflanzen mit großem Wasserbedürfnis. Die Pflanzen sollen das Salz auf den Blättern ausgeschieden haben, und zwar so reichlich, daß der Salzgeschmack durch die Zunge nachweisbar war. Vergiftungen treten auch durch Zechen- und Salinenabflußwässer ein. Um zu prüfen, ob bei diesen Beschädigungen das Chlornatrium die Ursache ist, und welche Wirkungen dasselbe auf Boden und Pflanzen hervorbringt, sind von Storp[3]) Untersuchungen angestellt worden. Danach wurden Fichten, die in Töpfen kultiviert wurden, rotspitzig und verloren die Blätter, wenn die Konzentration der zum Begießen benutzten Lösung von Kochsalz bis zu 0,6 gr auf 1 Liter erhöht wurde. Es wurde ferner festgestellt, daß dem Erdboden durch eine andauernde Kochsalzberieselung, auch bei sehr geringem Salzgehalt, Pflanzennährstoffe entzogen werden. Als französisches Ray- und Timothegras in einem Boden, der vorher mit Kochsalzlösungen ausgewaschen worden war, eingesäet wurde, so ergab die Ernte um so schlechtere Resultate und ein um so geringeres Quantum wertvoller Pflanzenbestandteile, besonders von Phosphorsäure, Schwefelsäure und Proteïnstoffen, je konzentrierter die Auslaugungsflüssigkeit gewesen war, welches Resultat jedoch möglicherweise von im Boden zurückgebliebenem Kochsalz herrühren kann.

Bromkalium.

12. Bromkalium wird nach Knop[4]) von den Pflanzen in kleinen Mengen ertragen; dieselben entwickeln sich dabei teils ziemlich normal, teils bekommen sie ein krankes Aussehen, bleiben klein und dürftig.

Jodkalium.

13. Jodkalium ist nach Knop[4]) für die Pflanzen schädlicher, weil es sich leicht zersetzt unter Ausscheidung von Jod; die Pflanzen blieben dabei kümmerlich und waren nach wenig Wochen abgestorben.

Borsäuresalze.

14. Borsäuresalze. Nach Peligot[5]) hat borsaures Kali, in sehr verdünnter Lösung mit den Wurzeln von Bohnen in Berührung gebracht, ein Gelbwerden der Blätter und endlich Eingehen der Pflanzen zur Folge.

---

[1]) Lehrbuch der Baumkrankheiten. 2. Aufl. 1889, pag. 250.

[2]) Berichte d. deutsch. bot. Ges. 1885, pag. 313.

[3]) Landwirtschaftl. Jahrbücher 1883, pag. 811.

[4]) Berichte d. kgl. sächs. Gesellsch. d. Wiss., 6. Februar 1869.

[5]) Compt. rend. 1876, T. 83, pag. 686 ff.

Cyanverbindungen.

15. Die Cyanverbindungen wirken alle auch auf die Pflanzen giftig. Besonders ist dies von der Blausäure schon von Göppert[1]) festgestellt worden. Dieselbe verhindert die Keimung vollständig. Wird sie von vegetierenden Pflanzen aufgenommen, so ändern diese oft ihre Farbe in Gelb oder Braun, Stengel und Blattstiele werden schlaff und die Pflanze geht in ein bis drei Tagen zu Grunde; man findet nach Göppert in solchen Pflanzen Blausäure in den Gefäßen des Holzes, die dadurch gebräunt sind, und die Parenchymzellen sind nicht mehr turgeszent. Blutlaugensalz konnte bei den Versuchen Knop's (l. c.) zwar das der Pflanze zum Ergrünen nötige Eisen liefern, aber in allen Nährstofflösungen, denen dieses Salz in kleinen Mengen zugesetzt worden war, gleichgültig ob daneben noch phosphorsaures Eisenoxyd vorhanden war oder nicht, blieben Maispflanzen auf dem bis dahin erreichten Punkte des Wachstums stehen und kamen keinen Schritt weiter, welche Höhe sie auch vor dem Zusatze des Giftes (10 bis 80 cm) hatten; sie erhielten sich aber gleichwohl bis zum Herbst am Leben, wo sie ihr natürliches Ende erreichten. Bei stärkeren Gaben machte sich der schädliche Einfluß dadurch geltend, daß die Blätter vorzeitig, mit den unteren beginnend, von den Spitzen an zu vertrocknen und einen rostfarbenen Ton anzunehmen anfingen. Das Blutlaugensalz wurde aber von der unverletzten Pflanze nicht unzersetzt aufgenommen, wie schon der Niederschlag von Berlinerblau auf den Wurzeln bewies; nur in der Nähe kleiner Wundstellen der Wurzeln ließ es sich im Gewebe als solches nachweisen.

Rhodanverbindungen.

16. Die Rhodanverbindungen gehören ebenfalls zu den Giften. Krauch[2]) sah Gerstenpflanzen in Wasserkultur, zu welcher ein Zusatz von 0,1 gr Rhodanammon pro Liter gegeben worden war, allmählich absterben. Nach dem Genannten finden sich in den bei der Darstellung des Leuchtgases auftretenden Produkten, dem Gaskalk und dem Gasometerwasser, thatsächlich Rhodanverbindungen, desgl. Cyanverbindungen, Schwefelkalium, Schwefelammon, schwefligsaure und unterschwefligsaure Salze, was also die Giftigkeit dieser Nebenprodukte erklärt.

Vulkanischer Aschenregen.

17. Die Beschädigung der Vegetation durch den Aschenregen bei vulkanischen Ausbrüchen beruhen ebenfalls auf der Einwirkung giftiger Stoffe, die jedoch im einzelnen nicht näher bekannt sind. Die hierbei zu beobachtenden Erscheinungen sind bei Gelegenheit eines Ausbruchs des Vesuvs von Pasquale[3]) beschrieben worden. Im botanischen Garten und in den Villen nahe von Neapel in einer Entfernung von mehr als 10 km vom Krater wurden durch den Aschenregen die grünen Pflanzenteile allgemein braun, so daß die Wirkung einer Verbrennung oder Vertrocknung, nicht derjenigen des kochenden Wassers glich; Succulenten und Pflanzen mit lederartigen Blättern litten weniger. Die roten oder violetten Blütenfarben von Papaver, Rosa, Gladiolus verwandelten sich in Blau, was eine alkalische Einwirkung anzeigt; die von Viola tricolor, Convolvulus, Digitalis blieben unverändert. Weder mechanische Effekte noch solche erhöhter Temperatur konnten am Beobachtungsorte gefunden werden. Ohne Zweifel hat es sich

[1]) De acidi hydrocyanici vi in plantas. Breslau 1827.

[2]) Botan. Centralbl., XII. 1882, pag. 130.

[3]) Referat in Botan. Zeitg. 1872, pag. 729.

um chemische Wirkungen der Bestandteile der vulkanischen Asche gehandelt; Pasquale sieht das reichlich gefallene Kochsalz für die Ursache an (vergl. das oben über Kochsalz Gesagte). Vielleicht war zum Teil auch freie Salzsäure in der Asche vorhanden, deren kräftige Wirkung in den gasförmigen Exhalationen (s. pag. 318) konstatiert ist. Auch soll der Schlamm vulkanischer Asche, welcher durch Regengüsse niedergeführt wird, bisweilen mit freier Säure verquickt sein und dann verheerend auf die Vegetation wirken.

B. Organische Verbindungen.

Schmierseife, Amylalkohol.

1. Schmierseife und Amylalkohol. Die sogenannten Neßler'schen Rezepte zur Vertilgung schädlicher Insekten sind den Pflanzen selbst sehr gefährlich. Es giebt drei solcher Präparate: a) 40 gr Schmierseife, 60 gr Tabakextrakt, 50 gr Amylalkohol, 200 gr Spiritus auf 1 Liter Wasser, b) 30 gr Schmierseife, 2 gr Schwefelkalium, 32 gr Amylalkohol auf 1 Liter Wasser, c) 15 gr Schmierseife, 29 gr Schwefelkalium auf 1 Liter Wasser. Nach E. Fleischer[1]) töten dieselben zwar Blattläuse, sind aber sämtlich für alle geprüften Pflanzen tödlich oder doch wenigstens sehr schädlich; dasselbe gilt auch von Schmierseife allein, welche schon in 1,32 prozentiger Lösung Blätter und jüngere Triebe tötet, in 0,66 prozentiger Lösung aber unschädlich ist, jedoch auch für Blattläuse.

Karbolsäure.

2. Karbolsäure. Da diese gegenwärtig ein vielgebrauchtes Desinfektionsmittel und sogar zur Vertilgung pflanzenschädlicher Parasiten vorgeschlagen worden ist, so hat die Frage nach ihrer Giftwirkung auf die Pflanzen besonderes Interesse. Dasselbe gilt auch von verschiedenen andern neuerdings zur Bekämpfung schädlicher Insekten empfohlenen Präparaten, in denen Karbolsäure der wesentlich wirkende Bestandteil ist, wie das Amylokarbol. Dieses besteht aus 150 gr Schmierseife, 160 gr reinem Fuselöl, 9 gr hundertprocentiger Karbolsäure. Es ist erwiesen, daß Karbolsäure und alle Präparate, in denen solche vorhanden ist, auf alle Pflanzen sehr giftig wirken. Nach Neßler[2]) ist Karbolsäure für Keimpflanzen tödlich, wenn dieselben mit Wasser begossen werden, welches 0,5 oder auch nur 0,35 gr davon auf 100 ccm Wasser enthält; und wenn der Boden, in welchem die Keimpflanzen wurzeln, mehr als 0,1 gr Karbolsäure auf 1700 gr Erde enthält, so hat dies ebenfalls tödliche Wirkung; bei größerer Feuchtigkeit und bei geringerer Beleuchtung sollen noch 0,5 gr ohne Schaden ertragen werden. Die giftige Wirkung der Karbolsäure hat sich bisweilen auch bei der Champignonkultur gezeigt; manche Kulturen erwiesen sich vollständig zerstört und die Erklärung dafür wurde darin gefunden, daß in den Ställen, aus welchen der Pferdedung entnommen war, Karbolsäure zur Desinfection angewendet worden war. Von den karbolsäurehaltigen Präparaten ist das Sapokarbol, eine Verseifung der Karbolsäure, nach Fleischer (l. c.) zwar in 2 ½ prozentiger Lösung für junge Triebe und ältere Blätter des Apfel- und Pflaumenbaumes und des Weinstocks schädlich, aber nicht in 1 prozentiger Lösung, welche zur Tötung von Blatt- und Blutläusen hinreicht.

Das zur Erhaltung der Baum- und Weinpfähle und andern Holzwerkes empfohlene Carbolineum ist nicht ohne Gefahr für die Pflanzen.

---

[1]) Zeitschrift f. Pflanzenkrankheiten. 1. Band 1891, pag. 325.
[2]) Centralblatt f. Agrikulturchemie 1877, pag. 188.

An einem damit imprägnierten Spalier, in einem damit gestrichenen Mistbeetkasten und ebenso behandelten Gewächshaus bekamen die Pflanzen Brandflecken oder wurden ganz verbrannt[1]). Auch an Reben und Pfirsichen, deren Pfähle und Spaliere mit diesem Mittel gestrichen waren, hat man diese Beschädigungen bemerkt[2]).

Antinonnin.

3. Das Antinonnin, ein hauptsächlich gegen die Nonne und auch gegen andre Insekten empfohlenes Mittel, ist das Kaliumsalz des Orthodinitrokresols. Nach den Angaben der Fabrikanten sollen gegen Lösungen von 1:750 bis 1:1000 die Forstpflanzen nahezu unempfindlich sein, während die Nonnenraupen dadurch getötet werden, und Blattläuse soll man durch Lösungen von 1:500 töten können. Ich sah jedoch, daß an Kirschbaumzweigen nach Behandlung mit der letzteren Verdünnung die Blätter abgestorben waren und wie verbrannt aussahen; die Läuse waren dabei größtenteils, doch auch nicht alle getötet.

Ätherische Öle.

4. Ätherische Oele, nicht nur als solche, sondern auch schon in Wasser gelöst oder suspendiert, wirken, wenn sie den Wurzeln der Pflanzen dargeboten werden, rasch tödlich. Insbesondere gilt dies vom Petroleum, welches ja neuerdings besonders bei der Bekämpfung der Reblaus Anwendung findet. Ein mit Petroleum getränkter Erdboden verliert alle Vegetation; da indes doch das Petroleum ziemlich flüchtig ist, so geht es, besonders unter der freien Einwirkung von Luft und Sonne, nach verhältnismäßig kurzer Zeit wieder verloren und der Boden bedeckt sich schon im Nachjahre wieder mit Vegetation, und zwar, wie mir zuverlässige Beobachter versichern, üppiger als vorher. Als Mittel, um schädliche Insekten im Erdboden von den Samen abzuhalten, hat man empfohlen, die Maiskörner in Petroleum einzubeizen; nach Wilhelm[3]) wird dadurch das Keimungsprozent der Körner etwas herabgedrückt und auch die Entwickelung der Pflanze ungleichmäßiger; aber bei einer Beizdauer von 16 bis 24 Stunden immerhin nur unbedeutend.

Auch durch Theer sollen nach Just[4]), selbst wenn der Boden stark damit imprägniert ist, Gemüsepflanzen, wie Bohnen, Kraut, weiße Rüben und Kartoffeln, nicht leiden, sondern üppig gedeihen.

Asphaltdämpfe sollen nach Alten und Jänicke[5]) bei Gelegenheit der Asphaltierung einer Straße in einer benachbarten Rosengärtnerei die Blätter der Rosen und Erdbeeren beschädigt haben. Nur die nach oben freiliegenden Blattseiten bräunten sich, schrumpften und fielen ab. Die Zweige starben ab oder trieben neue Zweige. Nicht alle Sorten wurden beschädigt. Die Bräunung beruhte darauf, daß der Inhalt der Epidermiszellen in eine braune, körnige Masse sich verwandelte. Es stellte sich heraus, daß die Bräunung mit dem Gerbstoff der Zellen zusammenhing; dieselbe ließ sich auch künstlich erzeugen, wenn man die Blätter mit Wasser benetzte, in welches Dämpfe von Asphalt geleitet worden waren, der der trockenen Destillation unterworfen wurde. Es wird daher vermutet, daß Regen die

[1]) Vergl Just. Botan. Jahresber. f. 1889 II., pag. 188.

[2]) Zeitschrift f. Pflanzenkrankheiten II. Band, 1892, pag. 315.

[3]) Österr. Landw. Wochenblatt 1888, Nr. 9.

[4]) Erster Bericht über d. Thätigkeit d. Großh. bad. Pflanzenphysiol. Versuchsanstalt zu Karlsruhe im Jahre 1884.

[5]) Botan. Zeit. 1891, Nr. 12, u. pag. 649.

Dämpfe absorbiert habe und daß das mit den Asphaltdämpfen mitgerissene Eisen die Bräunungen der Zellen bedingte.

Verschiedene Theerprodukte sind neuerdings fabriciert und zunächst zur Desinfektion und antiseptischen Wundbehandlung, demnächst auch als Gegenmittel gegen schädliche Insekten empfohlen worden, haben sich aber doch als starke Gifte für Pflanzen erwiesen. Das Pinosol, welches in Wasser unlöslich ist, aber eine gleichmäßige Emulsion damit giebt, ist nach E. Fleischer (l. c.) für Blätter und junge Triebe von Apfel- und Pflaumenbaum, Rosen und Weinstock in 5 prozentiger Lösung sehr schädlich, in schwächerer Lösung aber auch für Insekten nicht sicher wirksam. Für das Creolin gilt nach demselben Autor das gleiche in etwa 1 bis 2 prozentiger Lösung. Das Lysol, eine Lösung von Kohlenwasserstoffölen und Phenolen in Seife, ist in Wasser vollkommen löslich, soll nach E. Fleischer in $^1/_4$ prozentiger Lösung Blattläuse töten, ohne den Pflanzen merklich zu schaden; in stärkerer Lösung beschädigt es jedoch die Pflanzen und ist in 3 prozentiger Lösung für dieselben sicher tödlich. Die Giftigkeit des Lysols für Pflanzen ist von Otto[1]) genauer untersucht worden. Derselbe prüfte erstens die Wirkungen desselben im Boden auf die Pflanzen, weil bei der Verwendung des Lysols als Desinfektionsmittel die Gefahr einer Vergiftung des Bodens vorliegt, und fand, daß wenn auf 8 Liter Boden 2 Liter einer 5 prozentigen wässerigen Lysol-Lösung gegossen wird, Phaseolus vulgaris, Zea mais, Triticum vulgare, Avena sativa nicht mehr auf solchem Boden zur Entwickelung kamen, meist nicht einmal Keimung, sondern Verfaulen der Samen eintrat. Wenn Pflanzen, die in Wasserkulturen gezogen und gut entwickelt waren, mit den Wurzeln in Lysol-Lösungen, welche nicht alkalisch reagierten, eingesetzt wurden, so brachte schon eine 0,011 prozentige Lysol-Lösung Absterben der Wurzeln und Welk- und Gelbwerden der Blätter hervor. Otto sah ferner nach Bespritzen einer von Blattläusen befallenen Dracaena rubra mit $^1/_4$ prozentiger Lysol-Lösung Tiere und Pflanzen unversehrt, bei Anwendung einer $^1/_2$-prozentigen Lösung zwar die Läuse verschwunden, aber auch die Pflanze durch Braunstreifigwerden der Blätter beschädigt. Die auf Vicia faba sitzenden schwarzen Blattläuse wurden sogar durch Bebrausen mit einer $^1/_2$-prozentigen Lösung nicht getötet; nach Anwendung einer 2 prozentigen Lösung starben allerdings die meisten Läuse, aber auch die Pflanzen zeigten sich dadurch im höchsten Grade beschädigt, indem die Blattränder, die Nebenblätter und die Blüten wie verbrannt aussahen und die Pflanzen eingingen.

Ebenfalls giftig auf die Pflanzenwelt wirkt nach Göppert der Kampfer. Die Keimung sowohl der Samen der Phanerogamen wie der Sporen der Kryptogamen wird in einer Lösung von Kampfer in Wasser verhindert. Die gegenteiligen Angaben, nach denen namentlich alte Samen ihre Keimkraft durch Kampfer wieder erhalten sollen, sind außer durch die oben citierten Untersuchungen von Conwentz besonders durch Wilhelm[2]) widerlegt worden, welcher fand, daß zwölfjährige Körner verschiedener Getreidearten weder beim Einweichen in Wasser noch in Kampferlösung zum Keimen zu bringen waren und daß sowohl von sechsjährigen als auch

---

[1]) Zeitschrift f. Pflanzenkrankheiten. II. Band 1892, pag. 70 und 198.

[2]) Über die Einwirkung des Kampfers auf die Keimkraft der Samen. Referat in Just, Bot. Jahresbericht f. 1876, pag. 884. Vergl. auch Burgerstein, Landw. Versuchsstationen, 1888, pag. 1.

von ganz frischen Körnern die vor der Keimung in Kampferlösung eingeweichten eine Verzögerung der Keimung sowie eine schwächere Entwickelung der Keimpflanzen als schädliche Nachwirkung zeigten. Dagegen werden nach Burgerstein[1]) welke Sprosse in Kampferwasser (in der Verdünnung von 1: 1000) früher turgescent als in destilliertem Wasser; erst bei längerem Aufenthalt der Sprosse in der Lösung werden die Pflanzen krank.

Alkaloide.

5. Alkaloide. Die im Pflanzenkörper erzeugten Alkaloide, z. B. Morphium, Strychnin ꝛc., sind den Pflanzen selbst nachteilig, wenn die letzteren in Lösungen dieser Verbindungen gesetzt werden; es hat dies ein rasches Welkwerden und Absterben der Pflanzen zur Folge. Es ist hier auch zu erwähnen, daß Nikotin, nämlich ein Tabaksabsud, der als Blattlausvertilgungsmittel benutzt wird, bei flüchtigem Gebrauch, der allerdings auch gegen die Insekten nicht viel hilft, der Pflanze nichts schadet, wohl aber nachteilig auf die Blätter wirken soll, wenn er auf denselben auftrocknet, indem er die Epidermiszellen tötet[2]).

Hydroxylamin.

6. Hydroxylamin ist von Knop[3]) für höhere Pflanzen und von Löw[4]) für niedere Organismen als starkes Gift erkannt worden.

Pflanzensäuren.

7. Pflanzensäuren. Von freier Oxalsäure ist es ebenfalls nachgewiesen, daß Pflanzen rasch absterben, wenn sie in eine Lösung derselben gesetzt werden.

---

[1]) Verhandl. d. Zool. Bot. Ges. in Wien 1884.

[2]) Vergl. Just, Botan. Jahresbericht f. 1889. II. pag. 188, und E. Fleischer l. c.

[3]) Berichte der Kgl. Sächs. Ges. d. Wiss. Leipzig 1885.

[4]) Botan. Centralbl. 1885, Bd. XXI., pag. 386, u. Bd. XXII., pag. 103.

Register.

Abbisse 127.
Abblatten 146.
Abfallen der Blätter 26.
Abfrieren der Triebe 202.
Abfrieren der Zweigspitzen 202.
Abgeschnittene Pflanzenteile 114; A. Sprosse 116.
Abies 48 139, s. auch Fichte und Tanne.
Abmähen 124.
Abnorme Strauchformen 126.
Abnormitäten des Wachstums 160.
Absprünge 127.
Absterben bei Dunkelheit 168.
Abweiden 124.
Abwerfen der Blätter 268.
Abwerfen der Früchte 268.
Acacia 57.
Acacia-Arten, Gummifluß der 57.
Accessorische Knospen 95.
Acer 76 201 325, s. auch Ahorn.
Achimenes 116.
Achselknospen 93.
Adonis 184.
Adventivknospen 93 99.
Adventivwurzeln 90.
Aecker, Blitzschlag in 244.
Aesculus 201.
Aeste, ausfallende 131; A., Kappen der 129; A., tote 131; A., Verlust der 99.
Aestung 128.
Aetherische Oele als Gifte 319 329.
Aetiologie 2.
Aetzkalk als Gift 319.
Agaricus 111 199.
Agave 104 229 265.
Agraphis 225.
Agrostis 162.
Ahorn 176 293 314 316 323, s. auch Acer.
Akazie 318 326, s. auch Robinie.
Akklimatisation 200 219.
Alkalien als Gifte 319.
Alkaloïde als Gifte 331.
Allium 172 185 224 225.
Alnus, s. Erle.
Aloë 229 265.
Alpenrosen 218.
Ammoniacum 50.
Ammoniak als Gift 317 319; A. als Nährstoff 284.
Amphibische Pflanzen 246.
Amylalkohol als Gift 328.
Amylokarbol als Gift 328.
Anprällen 140
Antinonnin 329.
Antirhinum 188.
Apfel 118 150 156 215.
Apfelbaum 198 204 207 230 328 330.
Apfelsinenbäume, Gummifluß der 58.
Aprikosenbaum 51.
Arabisches Gummi 57.
Arsen als Gift 320.
Arsenige Säure als Gift 320.
Arsensäure als Gift 320.
Arum 225.
Arundo 255.
Asa foetida 50.
Aschenregen 327.
Aspergillus 302.
Asphaltdämpfe als Gifte 329.
Asphodelus 318.

Asphyxie 306.
Astbruch 128.
Astfäule 107.
Asthöhlen 130.
Astragalus 57.
Aststumpfe 130.
Atmosphärische Einflüsse 154.
Atropa 197.
Aucuba 318.
Aufästen 128.
Aufspringen fleischiger Pflanzenteile 113.
Aufziehen der Saaten durch den Frost 200.
Aurantiaceen, Gummifluß der 58.
Ausästen 128.
Ausbildung der mechanischen Gewebe 165.
Ausfallende Aeste 131.
Ausfaulen der Saaten 259.
Aushöhlung des Blattes 149.
Auslösungen des Holzkörpers 50.
Aussaat, Tiefe der 251.
Aussauern der Saaten 258.
Auswintern 200.
Avena 162 330.
Azaleen 317.
Bäume, Blitzschlag in 238.
Bäume, Krüppelformen der 235.
Bäume, mehrfache 87.
Bäume, Wurzelfäule der 260.
Balsame 44.
Balsam, kanadischer 139.
Bandholz 134.
Baumäste, Senkung der bei Frost 187.
Baumerde 108.
Baumgrenze 235; B., Krüppelbäume der 129.
Baumkitt 153.
Baumschlag 140.
Baumstämme, hohle 132.
Baumstamm, Verlust des 99.
Baumwachs 153.
Bdellium 50.
Bedecken 215.
Begonia 115.
Begoniaceen 115.
Behandlung der Wunden 150.
Behandlung hohler Bäume 153.
Behinderung des Dickenwachstums 22.
Behinderung des Längenwachstums 21.
Beiknospen 95.
Bekämpfung der Pflanzenkrankheiten 17.
Bekleidung der Wundfläche 70.
Bellis 309.
Benzoëbaum 50.
Beschädigungen durch Feuer 245.
Beschädigungen durch den Frost 200.
Beschädigungen durch Hagel 228.
Beschädigungen durch Regen 227.
Beschädigungen durch Sonnenbrand 174.
Beschädigungen durch Sturm 232.
Beschneiden der Wurzeln 122.
Besen 94.
Beta 66.
Betula, s. Birke.
Bewegung der Chlorophyllkörner 170.
Bewurzelung der Stecklinge 91.
Bildungsabweichung 1.
Birke 107 110 134 145 234 237 293.
Birnbaum 204 238 239 242.
Birnen 113 118 150.
Bixa 196.
Blatt, Aushöhlung des 149; B., Verkrüppelungen des 148.
Blattflecken 201.
Blattminierende Insekten 149.
Blattstecklinge 115.
Blattwunden 147.
Blätter, Abwerfen der 268.
Blätter, Abfallen der 26; Braunwerden der 26; B., Ersatz der 100; B., Gelbwerden der 26; B., Schnittwunden der 65; B., Stichwunden der 65 148; B., Verbrennen der 175; B., Verletzung der 147; B., Verlust der 27 146; B., Verstümmelungen der 148; B., Vertrocknen der 26.
Blausäure als Gift 319 327.
Bleichsucht 225 289.
Bleisalze als Gift 323.
Blitzschlag in Aecker 244; B. in Bäume 238; B. in Weinberge 243; B. in Wiesen 244.
Blumentöpfe, Pflanzen in 249.
Blumentöpfe, Wurzeln in 21.
Blutlaugensalz als Gift 327.
Blüten, Verletzung der 149.
Blütenfarben 156.
Boden, Trockenheit des 262 271 277; B., Versumpfung des 261.
Bodeneinflüsse, Erkrankungen durch 245.
Bodeneis 184.
Bodenoberfläche, Neigung der 250.
Bodenvolumen, ungenügendes 249.
Böden, krustierende 255.
Bohnen, 68 119 249 290 320 329 s. auch **Phaseolus**.
Borago 179 188 190.
Bordelaiser Brühe 321.
Borsäure als Gift 326.
Bouilli bordelaise 321.
Bräunungen des Holzkörpers 211.

Brand der Holzpflanzen 106 203.
Brassica 66 162 172 197 222 224 316, s. auch Kohl.
Braunwerden der Blätter 26.
Brennflecken 175.
Bromkalium als Gift 326.
Bromus 274 279.
Broussonetia 202.
Bryophyllum 115.
Bryum 60.
Buche 107 111 128 132 145 147 176 231 242 323, s. auch Fagus.
Buchweizen 119 285 286 320 324.
Bürstentriebe 98.
Cacteen 62 229 265.
Cactus 169 196.
Caesalpinia 40.
Calanthe 191.
Calceolaria 179.
Calcium als Nährstoff 288.
Calciumsulfid als Gift 325.
Calendula 185 188.
Calluna 223.
Callus 59; C. an Stecklingen 68; C. Heilung durch 63; C., verkorkender 64.
Camellia 317.
Campanula 320.
Campecheholz 40.
Cannabis 162 172.
Canna indica 197.
Capsella 197.
Caragana 78.
Carbolineum als Gift 328.
Cardamine 115.
Carex 255.
Celtis 40.
Ceratophyllum 172.
Ceratostoma 112; C. piliferum 112.
Champignon 159 282 328.
Chara 172.
Chenopodium 197.
Chermes 47.
Chionanthus 118.
Chlamidococcus 218.
Chlor als Gift 318; C. als Nährstoff 285.
Chlorcalcium als Gift 325.
Chlorkalium als Gifte 325.
Chlormetalle als Gifte 325.
Chlornatrium als Gift 325.
Chlorococcum 302.
Chlorophyllbildung 154.
Chlorophyllkörner, Bewegung der 170; C., Temperatureinfluß auf 224.
Chlorophyllose Pflanzen 281.
Chlorosis 225 289.
Chrysanthemum 185.
Cicuta 229.
Citronenbäume, Gummifluß der 58.
Citrus 172.
Cladophora 172 302 311.
Cladosporium 111 269.
Colchicum 225.
Coleus 197.
Colpoma quercinum 110.
Concentrationsgrad der Nährstofflösung 301.
Coniferen 122 283 291 293 324.
Convolvulus 327.
Copaivabalsam 50.
Copaifera 50
Corallorhiza 283.
Corchorus 212.
Cordyline 175.
Cornus 66 187.
Coronilla 212.
Coryneum 56; C. disciforme 110.
Corylus, s. Hasel 749.
Creolin als Gift 330.
Crassulaceen 62.
Crescentia 196.
Cruciferen 217.
Cryptospora suffusa 110.
Cucumis 197 217 220.
Cucurbita 172 197 217 220 316.
Cucurbitaceen 22.
Cuphea 179.
Cupuliferen 122 283 291 293.
Cuscuta 282.
Cyanverbindungen als Gifte 327.
Cycadeen 44.
Cyclamen 66.
Cynara 181.
Cytispora 110.
Dahlia 66.
Daucus 66.
Dauer der Vegetationstemperatur 218.
Delphinium 184.
Diaporthe Carpini 110.
Diatrype disciformis 111.
Diatrypella quercina 111.
Diatomaceen 199 287.
Dickenwachstum, Behinderung des 22.
Diclytra 184.
Digitalis 327.
Diplodia 110.
Dipsacus 188 197.
Distel 244.
Draba 274 276.
Dracaena 117 175 316 318 330.
Drainzöpfe 247.
Druck 22.

Duftanhang 230.
Dunkelheit, Absterben bei 168.
Durchlüftung des Bodens 255.
Eberesche 134 242, s. auch Vogelbeerbaum.
Echeveria 266.
Eiche 36 83 87 107 108 110 126 131 132 142 147 151 176 198 238 239 240 241 242 290 293 318.
Eichhörnchen 145.
Einflüsse, atmosphärische 154.
Einkerben 137.
Einschlagen 215.
Eisanhang 230.
Eisbildung in der Pflanze 178.
Eisen als Nährstoff 289.
Eisensalze als Gifte 324.
Eisenoxydulsalze als Gifte 324.
Eisenvitriol als Gift 324.
Eisklüfte 207 210.
Elaeagnus, Gummifluß von 57.
Eläagnaceen, Wurzelanschwellungen der 296.
Elektrisches Licht 155 158.
Elodea 168.
Elymus 255.
Embryo, Verlust der Teile des 121.
Empetrum 22?.
Empfindlichkeit gegen Frost 195.
Endosperm, Künstliches 121.
Entgipfeln 92.
Entlaubung 29 146.
Entrindungen der Stämme 135.
Epheu 86 248 319.
Epheuharz 51.
Equisetaceen 287.
Equisetum 247.
Erbliche Krankheitszustände 15.
Erbsen 120 121 167 217 247 249 263 305 320 323.
Erdbeere 329.
Erdboden, Durchlüftung des 255.
Erdboden, Festigkeit des 254.
Erfrieren 189.
Erfrieren der Obstbaumblüten 202.
Erfrieren der Rinde 203.
Erica 172.
Erkrankungen durch Bodeneinflüsse 245.
Erle 242 248 261 293; E., Wurzelanschwellungen der 296.
Ermittelung der Krankheitsursache 16.
Ernährung mit Humus 283.
Ernährung mit Stickstoff 284.
Ernährungssymbiose 291.
Ersatz der Blätter 100.
Ersatz der Knospen 91.
Ersatz der Wurzeln 90.
Ersatz der Zweige 91.
Ersatztriebe 93.
Erstickung 159.
Esche 94 110 118 142 145 198 293 314.
Etiolement 154 162.
Etiolement, falsches 225.
Etiolin 154.
Etioliren 154.
Euphorbia 185 265.
Eutypa 111.
Evonymus 316.
Exosporium Tiliae 110.
Fäule, nasse 107.
Fäulnisbewohner 282.
Fagus 40, s. auch Buche und Rotbuche.
Falsches Etiolement 225.
Farbenänderungen beim Gefrieren 187.
Farbiges Licht 158.
Farne 155 161 168.
Faulen der Samen 259.
Faules Holz 106.
Fegen 141.
Feigenbaum 58.
Feldfrüchte, Lagern der 166.
Festigkeit des Erdbodens 254.
Feuer, Beschädigungen durch 245.
Feuchtigkeitsgehalt der Luft 308.
Feuerbohne 169 307, s. auch Phaseolus.
Ficaria 185.
Fichte 41 46 47 49 86 96 108 123 125 127 129 132 135 138 142 143 173 222 230 233 235 238 239 241 293 314 318 320 323 326.
Fichtenrindenwickler 47.
Fico, Marciume del 58.
Flußsäuredämpfe als Gifte 318.
Flüssigkeiten, giftige 313.
Flachs 305, s. auch Lein.
Flachwunden 74; F., Ueberwallung der 79.
Flader 80.
Flechten 197 199 254.
Flieder 118.
Flugsand 255.
Folgen des Gefrierens 188.
Forleule 47.
Formbäume 225.
Form der Nährstoffe 181.
Fostit 321.
Frankia 297.
Franzosenholz 41.
Fraxinus 59 95.
Fremde Körper 137.

Frost, Aufziehen der Saaten durch den 200.
Frost, Beschädigungen durch den 200.
Frostblasen 204.
Frost, Empfindlichkeit gegen 195; F., Wirkungen des 177.
Frostgeschmack der Weinbeeren 227.
Frostkrebs 207.
Frostleisten 211.
Frostplatten 203.
Frostrisse 210
Frostrunzeln 204.
Frostspalten 210.
Frostschorf 204.
Frostschutzmittel 213.
Frostschutzmittel, künstliche 215.
Frostschutzmittel, natürliche 214.
Frosttod 191.
Fruchtbildung 28.
Früchte, Abwerfen der 268; F., Verletzung der 149.
Frühlingsästung 132.
Fuchsschwänze 247.
Fuchsia 266 316.
Galanthus 225.
Galmeiboden 323.
Gase, giftige 313.
Gaskalk 327.
Gaslicht 158.
Gasometerwasser 327.
Gefrieren der Pflanzen 177.
Gefrieren, Folgen des 188.
Geizen 92.
Geköpfte Pflanzen 92.
Gelbholz 40.
Gelbsucht 225 247 261 289.
Gelbsucht der Köpfe 268.
Gelbwerden der Blätter 26.
Gentiana 175.
Georgina 197.
Gerste 172 173 199 221 256 263 269 273 286 287 305 309 327.
Gesetz des Minimums 280.
Getreide 166 228 304 330.
Getreide, Notreife des 266.
Getreide, Verscheinen des 266.
Gewächse, Verpflanzen krautartiger 123.
Gewebe, intermediäres 88.
Gifte 305 310.
Giftige Gase 313.
Giftige Flüssigkeiten 319.
Gipfelbruch 128.
Gipfeldürre 268.
Gladiolus 327.
Gleditschia 36 40 268 735.
Glyceria 308.
Gräser 92.
Gramineen 217 287.
Grind der Kartoffel 104.
Grind des Weinstockes 209.
Grünästung 131 141 151.
Grünfäule 107.
Guajacum 41.
Guajakholz 41.
Gummi, arabisches 57.
Gummidrusen 51.
Gummifluß der Acacia-Arten 57; G. der Apfelsinenbäume 58; G. der Aurantiaceen 58; G. der Citronenbäume 58; G. der Pomeranzenbäume 58; G. der Steinobstbäume 51; G. von Elaeagnus 57.
Gummiharze 44.
Gummiharzfluß 50.
Gummikrankheit 45 56.
Gummosis der Steinobstbäume 51.
G. des Oelbaums 59.
Gurken 68.
Habitus der Schattenpflanzen 164.
Haematoxylon 40.
Hafer 120 217 263 269 284 286 287 305 314 320 323, s. auch Avena.
Hagel 140.
Hagel, Beschädigungen durch 228.
Hainbuche 126 176.
Hanf 217 325.
Hartriegel 118.
Harz 41 44.
Harzbeulen 45.
Harzdrusen 49.
Harzen 138.
Harzfluß der Koniferen 45; H. der Nichtkoniferen 50.
Harzgallen 49.
Harzgewinnung 138.
Harzhöhlen 29.
Harzkanäle 29 45 46.
Harzkrankheit 45.
Harzscharren 138.
Hasel 293.
Heckenschnitt 94 125.
Hedera 172.
Hefe 199.
Heilung 17.
Heilung durch Callus 63; H. durch Wundkork 60.
Heilungsprozesse, natürliche 59.
Helianthus 66 90 116 121 306 308 316.
Helicosporium 111.
Heliotropium 179.
Helligkeit 157.

Helminthosporium 111.
Herbstästung 132.
Hercospora Tiliae 110.
Hibiscus reginae 69.
Hippophaë 254 255 297.
Hirsche 141 142.
Hitze, Tötung durch 171.
Hohle Bäume, Behandlung der 153.
Hohle Baumstämme 132.
Holzbildung 29.
Holz, faules 106; H., Humifizierung des 108; H., Verwundung des 26.
Holzgewächse, Verpflanzen der 122.
Holzkäfer 109.
Holzkörper, Auslösungen des 50; H. Bräunungen des 211.
Holzpflanzen, Schälwunden der 70.
Holzpflanzen, Verstümmelung der 125.
Holzrücken 141.
Holzwespen 109.
Holz, Zersetzungserscheinungen des 106.
Hopfen 268.
Hordeum 217 220, s. auch Gerste.
Hornissen 145.
Hottonia 220.
Hoya 86.
Hüttenrauch 313.
Humifizierung des Holzes 108.
Humusbewohner 282.
Humus, Ernährung mit 283.
Humuszehrer 283.
Hyacinthe 69 115 185.
Hydrocharis 246.
Hydroxylamin als Gift 331.
Hymenomyceten 199.
Hypoxylon 112.
Hysterium Fraxini 110.
Jahresring, Verdoppelung des 30.
Icterus 225 289.
Inanition 307.
Inschriften 137.
Insekten, blattminierende 149.
Intensives Sonnenlicht 169.
Intermediäres Gewebe 88.
Jodkalium als Gift 326.
Johannistrieb 101.
Iris 181.
Juglans 36 40, s. auch Nußbaum.
Juniperus 223.
Kältegrade, tödliche 196.
Kahlfraß 101.
Kaiserkrone 184.
Kaktus 196.
Kalium als Nährstoff 288.
Kalk als Nährstoff 288.
Kopal 50.
Kalklicht 158.
Kalköfen 313.
Kamellie 268.
Kampfer als Gift 330.
Kanadischer Balsam 139.
Kandieren der Samen 302.
Kappen der Baumäste 129; K. der Reben 30.
Karbolsäure als Gift 328.
Kartoffel 22 61 68 104 189 191 215 244 286 304 314 321 329.
Kartoffel, Grind der 104; K., Krätze der 104; K., Räude der 104; K., Schorf der 104; K., Süßwerden der 227.
Kastanie 84 87.
Keimung im Dunkeln 161; K. im Hellen 161.; K., verhindert durch Trockenheit 262; K., Temperaturgrenze der 216.
Kernfäule 107.
Kerngummi 39.
Kernholz 31 38.
Kernschäle 213.
Kiefer 41 46 47 48 87 97 123 125 126 130 135 143 222 241 242 245 260 261 293 318 326, s. auch Pinus.
Kiefernmotte 47.
Kienäste 41
Kienholz 41.
Kieselpflanzen 286.
Kieselsäure als Nährstoff 286.
Kirschbaum 51 329.
Kirschen 113 118 150.
Kirschgummi 51.
Kittgewebe 88.
Klassifikation der Pflanzenkrankheiten 20.
Klee 92 120 159 249 263 314 325, s. auch Trifolium.
Klima 218.
Knospen, accessorische 95; K., Ersatz der 91; K., schlafende 95.
Kochsalz als Gift 325.
Kohl 123 184 290, s. auch Brassica.
Köpfe, Gelbsucht der 268.
Körper, fremde 137.
Kohlensäure 307.
Kohlensäureassimilation 156.
Kohlensäureassimilation, Temperatureinfluß auf 220.
Kohlensäuregehalt der Luft 307.
Kohlrabi 113.
Konferven 199.
Koniferen 41 43 89 99.
Koniferen, Harzfluß der 45.
Koniferen, Resinosis der 45.
Konzentriertes Sonnenlicht 170.

Kopfhölzer 128.
Kopulation 88.
Krätze der Kartoffel 104.
Krankheit 5.
Krankheitsbefördernde Nebenumstände 13.
Krankheitssymptome 7.
Krankheitsursache 12; K., Ermittelung der 16.
Krankheitszustände, erbliche 15.
Krassulaceen 265.
Kraut 329.
Krebs 207; K. der Obstbäume 207; K. der Rotbuche 209; K. des Weinstocks 209.
Kresse 305 307.
Krümmungen beim Gefrieren 184.
Krüppelbäume der Baumgrenze 129.
Krüppelformen der Bäume 235.
Krustierende Böden 255.
Kürbis 22 68 150 183 193 222.
Künstlicher Schnitt 125.
Künstliche Frostschutzmittel 215.
Künstliches Endosperm 121.
Künstliches Licht 158.
Kupfervitriolkalkbrühe 321.
Kupfervitriol-Speckstein 321.
Kupfersalze als Gift 320.
Kupfervitriol als Gift 320.
Kurznadligkeit 98.
Laachen 138.
Labiaten 179.
Lachten 138.
Längenwachstum, Behinderung des 21.
Längswunden 74.
Lärche 41 46 47 126 129 135 160 236 293 318, s. auch Larix.
Lärchenrindenwickler 47.
Lagern der Feldfrüchte 166.
Lagten 138.
Lampenlicht 155 158.
Landpflanzen im Wasser 246.
Lantana 179.
Larix 155.
Lathyrus 259.
Laubmoose 172.
Laubstreifen 146.
Lawinen 231.
Lebermoose 161 172 199.
Leguminosen 89 285; L., Wurzelknöllchen der 297.
Lein 217 263 268 290.
Lemna 172.
Lepidium 217 220 316.
Leptothrix 172.
Leucojum 65 148 225.
Leuchtgas 316.
Licht 154.
Licht, elektrisches, 155 158.
Lichtfarben 158.
Licht, farbiges 158.
Licht, künstliches 158.
Lichtmangel 154 156 160 165.
Liliaceen 184.
Linde 107 110 132 134 147 153 293 316.
Linse 305.
Lithiumsalze als Gifte 324.
Löcherpilze 111.
Lohe, rote 268.
Lonicera 95 137.
Lorbeer 242 268.
Luft, Kohlensäuregehalt der 307; L., Feuchtigkeitsgehalt der 308.
Luftwurzeln 134.
Lupine 120 121 162 172 247.
Lychnis 181.
Lysol als Gift 330.
Maasliebe 87.
Maclura 40.
Magnesium als Nährstoff 289.
Magnesiumlicht 158.
Mais 89 113 120 121 173 219 247 263 287 290 305 316 320 327 329
mal della gomma 58.
Malva 185.
Manna 59.
Mannaesche 59.
Mannafluß 59.
Manulea 179.
Marattiaceen 44.
Marchantia 161 199.
Marciume del Fico 58.
Markflecken 212.
Markwiederholungen 212.
Maser 80.
Maserbildung 80.
Maserholz 80.
Matricaria 274.
Mäusenagen 145.
Maulbeer 146.
Mechanische Gewebe, Ausbildung der 165.
Medium, natürliches 245; M., ungeeignetes 245
Meeresalgen 169.
Mehrfache Bäume 87.
Melanomma pulvis pyrius 112.
Mercurialis 185.
Milchsäfte 44.
Milchsaftgefäße 43.
Mimosa 172 306.
Minimum, Gesetz des 280.

Mirabilis 121.
Mißbildung 1.
Moder 108.
Möhre 70 86 113 183.
Mohn 217.
Mondringe 212.
Monotropa 283.
Moose 60 168 197 199 254.
Morphium als Gift 331.
Morus 172 202.
Mougeotia 302.
Mykodomatien 297.
Mykorhizen 283 292.
Myricaceen, Wurzelanschwellungen der 296.
Myrrhe 50.
Nachtfaser 109.
Nadelbäume 232, s. auch Koniferen.
Nährstoffbedürfnis der Pflanze 278.
Nährstoffe, Form der 281; N., organische 281.
Nährstofflösung, Konzentrationsgrad der 301.
Nährstoffmangel 278.
Naemaspora 110.
Nässe, stagnierende 256.
Nagen 141 145.
Nanismus 271.
Nasse Fäule 107.
Natürliche Frostschutzmittel 214.
Natürliche Heilungsprozesse 59.
Natürliches Medium 245.
Natürliche Schutzvorkehrungen nach Verwundungen 31.
Natürlicher Tod 5.
Nebenumstände, krankheitsbefördernde 13.
Nectria 111 157.
Neigung der Bodenoberfläche 250.
Nekrose 106.
Nematogonium 111.
Neottia 283.
Neßler'sche Mittel als Gifte 328.
Nicotiana 172.
Nicotin als Gift 331.
Niederholzzucht 134.
Niederschläge 227.
Nonne 47.
Notreife des Getreides 266.
Nußbaum 242.
Nyctomyces 109.
Nymphäaceen 246.
Obstbäume, Krebs der 207.
Obstbaumblüten, Erfrieren der 202.
Oedogonium 302.
Oelbaum 118; O., Gummosis des 59.
Oele 44.
Oelrettig 120.
Oenothera 250 279.
Oïdium 174.
Okulieren 87.
Opopanax 50.
Optimum der Wachstumstemperatur 219.
Opuntia 115 175.
Orangenbaum 268.
Orchideen 192.
Organische Nährstoffe 281.
Organischer Stickstoff als Nährstoff 284.
Ornithogalum 225.
Orobanche 282.
Paeonia 184.
Palmen 241.
Panicum 274 276.
Papaver 172 327.
Pappel 99 107 128 132 238 240 241 242 248 254 261 293.
Parasiten 282.
Pathologische Rassen 16.
Pellia 199.
Penicillium 173 174.
Peperomia 115.
Petroleum als Gift 329.
Peziza 174; **P. aeruginosa** 108 111.
Pfirsichbaum 51.
Pflanzen, amphibische 246.; P., chlorophyllose 281; P., Gefrieren der 177; P., geköpfte 92; Pflanze, Nährstoffbedürfnis der 278.
Pflanzen in Blumentöpfen 249.
Pflanzenkrankheit 5.
Pflanzenkrankheiten, Bekämpfung der 17; P., Klassifikation der 20.
Pflanzensäuren als Gifte 331.
Pflanzenschutz 18.
Pflanzenteile, abgeschnittene 114; P., Aufspringen fleischiger 113.
Pflanzen unter Bäumen 160.
Pflaumen 113 118 150.
Pflaumenbaum 51 328 330.
Pfropfen in die Rinde 87.
Phajus 191.
Phaseolus 163 172 197 217 220 224 286 288 305 317 330.
Phosphor als Nährstoff 285.
Phycochromaceen 173.
Phyllirea 118.
Pilze, saprophyte 109; P., Symbiose mit 283.
Pilzkammern 297.
Pilzwurzel 292.
Pinosol als Gift 330.

Pinus 139 212 223 224, s. auch Kiefer.
Pistacia 40.
Pisum 100.
Plantago 274.
Plasmolyse 301 311.
Platane 248 316.
Plattgedrückte Wurzeln 23.
Pleospora 111.
Polycladie 92 94.
Polygonum 201 246.
Polypodium 196.
Polyporus 111.
Polytrichum 161.
Pomeranzenbäume, Gummifluß der 58.
Populus 127, s. auch Pappel.
Potentilla 184.
Poterium 185.
Primula 325.
Produktion, Temperatureinfluß auf 221.
Proleptisch 101.
Protococcus 302.
Prunus 36 40 118 204.
Ptelea trifoliata 186.
Pulmonaria 156.
Pyrus 36 40.
Quaternaria Persoonii 110.
Quecksilberchlorid als Gift 320.
Quecksilbersalze als Gifte 320.
Querwunden, Ueberwallung der 80.
Quercus 36 40 127.
Quetschwunden 68 140.
Radieschen 306.
Räude der Kartoffel 104.
Ranunkel 87.
Raps 155 184 217 225 229 253 263 325.
Rassen, pathologische 16; R., teratologische 16.
Rauch 313.
Rauchfeuer 215.
Rauhreif 230.
Raummangel 21.
Raygras 326.
Reaktionen gegen Verwundungen 31.
Reben, Kappen der 30.
Regen, Beschädigungen durch 227.
Regeneration der Rinde 70; R. eines Vegetationspunktes 89; R. von Geweben an Wunden 70.
Rehböcke 142.
Reproduktionen 90.
Reseda 125.
Reservenährstoffbehälter, Verlust der 119.
Resinosis der Koniferen 45.
Rettig 104 113.
Rhizobium Leguminosarum 285 297.
Rhizomorpha intestina 111; R. subcorticalis 111.
Rhizopus 174.
Rhodanverbindungen als Gifte 327.
Rhododendron 223.
Rhus 212.
Rhus cotinus 40.
Rhynchomyces violaceus 112.
Ricinus 197.
Rinde, Erfrieren der 203; R., Regeneration der 70; R., Verwundung der 26.
Rindenbrand 203.
Rindendruck 24.
Rindenlaus 47.
Ringeln 135.
Ringschnitt 135.
Robinia 72 202 212 242 255 316.
Roggen 120 147 172 173 220 221 253 256 305.
Roggenähren, weißspitzige 203.
Rose 320 327 329 330.
Roßkastanie 134 211 232 316.
Röte 268.
Rotbuche 126 211 232 293 314 326, s. auch Buche und Fagus; R., Krebs der 209.
Rote Lohe 268.
Roter Schnee 218 225.
Rotfäule 107.
Rotklee 217.
Rubus 221.
Rübe 22 68 100 101 104 123 146 159 183 189 191 193 215 244 256 284 286 302 304 329.
Rüster 93 126.
Rumex 228.
Runkelrübe 86, s. auch Rübe.
Saaten, Ausfaulen der 259; S., Aussauern der 258.
Säbelwuchs 234.
Säumaugen 95.
Säuren als Gifte 319.
Salat 123.
Salicaceen 293.
Salicornia 286.
Salinenabflußwässer 326.
Salisburia 172.
Salix 95 96 127, s. auch Weide.
Salpetersäure als Nährstoff 284.
Salsola 325.
Salvia 316.
Salzlösungen 302.
Salzpflanzen 286.
Salzsäure als Gift 318.
Sambucus 185.

Samen, Faulen der 259; S., Kandieren der 302; S., Verstümmelung der 119.
Samenbruch der Weinbeeren 150 176 229.
Sandgräser 255.
Sapokarbol als Gift 328.
Sappanholz 40.
Saprophyte Pilze 109.
Saprophyten 282.
Saubohne 217.
Sauerkirschen 118.
Sauerstoffgas 305.
Saxifraga 172 197.
Schädliche Stoffe 305.
Schälen 141.
Schälwunden 141 151; S. der Holzpflanzen 70.
Schattenpflanzen, Habitus der 164.
Scheidenknospen 97.
Schilfrohr 228.
Schlafende Knospen 95.
Schlammbedeckung 248.
Schlingpflanzen 137
Schmarotzer 282.
Schmierseife als Gift 328.
Schneebruch 220.
Schneedruck 230.
Schnee, roter 218 225.
Schneiden der Wunden 152.
Schnitt 93; S., künstlicher 125.
Schnittwunden an Blättern 65.
Schorf der Kartoffeln 104.
Schröpfen 78.
Schütte 222.
Schutzholz 31 36.
Schwamm 197.
Schwarzföhre 48.
Schwefel als Nährstoff 285.
Schwefelkiese 324.
Schwefelkohlenstoff als Gift 318.
Schwefelmetalle als Gifte 324.
Schwefelwasserstoff als Gift 318.
Schweflige Säure als Gift 313.
Scrophulariaceen 179.
Secale 217, s. auch Roggen.
Secretbehälter 43.
Secrete, vorgebildete 43.
Secretionen an Wunden 43.
Secundärknospen 95.
Sedum 197.
Seewinde 325.
Seitenknospen 93.
Selaginella 168.
Sellerie 113.
Sempervivum 175 182 197 309 325.
Senecio 179 185 197.
Senegalgummi 57.
Senkung der Baumäste bei Frost 187.
Silberpappel 316.
Silicium als Nährstoff 286.
Silybum 86 185.
Sinapis 185 188 190 217 220 280.
Soda als Gift 319.
Solanaceen 118.
Solanum 172 197.
Soldanella 225.
Sommerästung 132.
Sommerbrand 268.
Sommerdürre 266 269.
Sonchus 185.
Sonnenblume 92 155 247 290 305.
Sonnenbrand, Beschädigungen durch 174.
Sonnenlicht, 155 158; S., intensives 169; S., konzentriertes 170.
Sonnenrisse 176.
Soolleitungen 326.
Spaltpilze 174.
Spaltwunden 74; S., Ueberwallung der 79.
Spieß 54 127.
Spiraea 210.
Spirogyra 169 173 192 199 302 322.
Splintfäule 107.
Splintholz 36.
Sporidesmium 269.
Sporotrichum 112.
Sprosse, abgeschnittene 116.
Stagnierende Nässe 256.
Stämme, Entrindungen der 135.
Stämme, verwachsene 87.
Stammabhieb 134.
Stammverstümmelungen 124.
Stammfäule 107.
Staphylosporium violaceum 112.
Stecklinge 115; S., Bewurzelung der 91; S., Callus an 68.
Steinkohlenrauch als Gift 313.
Steinkohlentheer als Gift 319.
Steinobstbäume, Gummifluß der 51; S., Gummosis der 51.
Stellaria 197.
Stengel, Stichwunden in 68.
Sterkuliaceen 44.
Sterilisieren 174.
Stichwunden an Blättern 65 148; S. in Stengeln 68.
Stickstoff als Nährstoff 284; S., Ernährung mit 284; S., organischer, als Nährstoff 284.
Stickstoffdüngung 303.

Stickstoffoxyd als Gift 317.
Stigeoclonium 302.
Stoffe, schädliche 305.
Stockausschläge 99 134.
Stockfäule 107.
Störung der Wurzelthätigkeit 221.
Straßburger Terpentin 45 139.
Strauchformen, abnorme 126.
Strychnin als Gift 331.
Sturm, Beschädigungen durch 232.
Sulfostratit 321.
Succulenten 26 62.
Süßkirschen 118.
Süßwerden der Kartoffeln 226.
Symbiose 7; S. der Wurzeln 291; S. mit Pilzen 283.
Symbiosepilze 292.
Symptome der Krankheiten 7.
Symptome des Todes 7.
Syringa 118 270.
Tabak 222 284 286 310.
Tabaksabsud als Gift 331.
Tamariske 59.
Tamarix 59.
Tanacetum 172.
Tanne 41 45 47 48 49 84 86 127 129 143 222 231 233 234 241 242 293, s. auch Weißtanne.
Tannenstöcke, Ueberwallen der 134.
Tannenwickler 45.
Taraxacum 113.
Taxodium 127.
Taxus 172.
Teesdalia 275.
Teichospora obducens 112.
Telephora 111.
Temperatur 171
Temperatureinfluß auf Chlorophyllbildung 224; T. auf Kohlensäureassimilation 220; T. auf Produktion 221; T. auf Wachstum 216.
Temperaturgrenzen 216.
Temperaturgrenze der Keimung 216.
Temperaturgrenzen des Wachstums 216.
Teratologie 1.
Teratologische Rassen 16.
Terpentin 45 138; T., Straßburger 45 139; T. von Bordeaux 139.
Terpentinöl 41 45.
Theerprodukte als Gifte 330.
Theerung 152.
Theestrauch 146.
Thlaspi 323.
Thuja 48 268.
Thyllen 35.
Tiefe der Aussaat 251,
Tiefpflanzung 254.
Tiere, Verwundungen durch Tritte der 141.
Timothegras 326, s. auch Phleum pratense.
Tinea 47.
Tod, natürlicher 5.
Tod, Symptome des 7.
Tödliche Kältegrade 196.
Tötung durch Hitze 171.
Topfgewächse in Zimmern 159.
Topfgewächse, Versauern der 260.
Tortrix 47.
Torula 112.
Tote Aeste 131.
Tragantgummi 57.
Transpirationsstrom 27.
Trauben, Vertrocknen der 176.
Trauerweide 248.
Triebe, Abfrieren der 202.
Trifolium 173, s. auch Klee und Rotklee.
Trimmatostroma Salicis 110.
Triticum 217 220 330.
Trockenäste 151.
Trockenästung 131 151.
Trockenfäule 107.
Trockenheit des Bodens 262 271 277.
Trockenheit verhindert Keimung 262.
Tropaeolum 157 172 197.
Tubercularia 111.
Tulipa 225.
Typha 308.
Ueberschwemmung 248.
Ueberwallen der Tannenstöcke 134.
Ueberwallung 60 74 133; U. der Querwunden 80; U. der Flachwunden 79; U. der Spaltwunden 79.
Ueberwallungswulst 74.
Ulex 255.
Ulme 40 110 238 239 242 248 293 314 316.
Ulothrix 199.
Ungenügendes Bodenvolumen 249.
Ungeeignetes Medium 245.
Unterdrückung 159.
Urtica 185 317.
Ustilago 174 323.
Vaccinium 223.
Valsa salicina 110; V. stellulata 110.
Variationen 7.
Vaucheria 60.
Vegetationspunkt, Regeneration eines 89.
Vegetationstemperatur, Dauer der 218.
Verbeißen 93 125.
Verbrennen der Blätter 175.

Verdämmung 159.
Verdoppelung des Jahresringes 30.
Veredeln, Verwachsen beim 87.
Veredelung 117.
Vergeilen 154.
Vergiftung 310.
Verhütung 17.
Verkorkender Callus 64.
Verkrüppelungen des Blattes 148.
Verletzung der Wurzeln 26.
Verlust des Baumstammes 99; V. der Aeste 99; V. der Blätter 27; V. der Laubblätter 146; V. der Reservenährstoffbehälter 119; V. der Teile des Embryo 121; V. der Wurzeln 26.
Vermoderung 107.
Verpflanzen der Holzgewächse 122.
Verpflanzen krautartiger Gewächse 123
Versauern der Topfgewächse 260.
Verscheinen des Getreides 266.
Verschnaken 154.
Verschüttung 254.
Verspillern 154.
Verstümmelung der Blätter 148; V. der Holzpflanzen 125; V. der Samen 119.
Versumpfung des Bodens 261.
Vertrocknen der Blätter 26.
Vertrocknen der Trauben 176.
Verwachsene Stämme 87.
Verwachsene Wurzeln 87.
Verwachsungen 85; V. beim Veredeln 87.
Verwallung 74.
Verwundungen der Blüten 149; V. der Früchte 149; V. durch Tritte der Tiere 141; V. der Wurzeln 121; V. durch Wagenräder 141; V. der Rinde 26; V. des Holzes 26; V. natürliche Schutzvorkehrungen nach 31; V. Reaktionen gegen 31.
Verwundungsarten 113.
Verwehungen 237.
Verzwergung 271 279.
Viburnum 318.
Vicia 100 259 306 316 330, s. auch Wicke.
Viola 323 327.
Viscum 161.
Vitis, s. Weinstock.
Vogelbeerbaum 314, s. auch Eberesche.
Vorgebildete Sekrete 43.
Vorkeimsprossungen 116.
Vulkanische Exhalationen 318.
Wachholder 237.
Wachstum, Abnormitäten des 160.
Wachstums-Etiolement 164.
Wachstumsgeschwindigkeit 219.
Wachstumsgröße 220.
Wachstumstemperatur, Optimum der 219.
Wachstum, Temperatureinfluß auf 216.
Wachstum, Temperaturgrenzen des 216.
Wagenräder, Verwundungen durch 141.
Waldbrände 245.
Waldstreu 296.
Wasserkulturen 246.
Wasserlinsen 246.
Wassermangel 262.
Wasserpflanzen auf dem Trocknen 246.
Wasserwurzeln 246.
Weide 107 110 128 132 134 153 218 247 254 261 293, s. auch Salix.
Weihrauch 50.
Weinbeeren, Frostgeschmack der 227; W., Samenbruch der 150 176 229.
Weinberge, Blitzschlag in 243.
Weinstock 36 198 215 261 318 321 328 330; W. Grind des 209; W., Krebs des 209.
Weißbuche 110 293, s. auch Hainbuche.
Weißfäule 107.
Weißspitzige Roggenähren 203.
Weißtanne 139 211 230, s. auch Tanne.
Weizen 167 172 173 199 221 251 263 287 321.
Welken 26 263.
Wicken 166 199.
Wiesen, Blitzschlag in 244.
Wildschälen 141.
Wimmer 80.
Windbruch 232.
Windfall 232.
Windschub 233.
Wirkungen des Frostes 177.
Wunden 24; W., Behandlung der 150; W., Schneiden der 152; W. Sekretionen an 43.
Wundfäule 101 106 130.
Wundfläche, Bekleidung der 70.
Wundgummi 34.
Wundholz 76.
Wundkork 59; W., Heilung durch 61.
Wundkrankheit 101.
Wundsekrete 44.
Wurzelanschwellungen der Erle 296; W. der Eläagnaceen 296; W. der Myricaceen 296.
Wurzelausschläge 99 134.
Wurzelfäule 107 258; W. der Bäume 260.
Wurzelknöllchen der Leguminosen 297.

Wurzeln in Blumentöpfen 21; W., Beschneiden der 122; W., plattgedrückte 23; W., Ersatz der 90; W., Symbiose der 291; W., Verletzung der 26 121; W., verwachsene 87; W., Verlust der 26.
Wurzelstecklinge 115.
Wurzelthätigkeit, Störung der 221.
Wurzelzöpfe 247.
Xanthorrhoea-Harz 50.
Xenodochus ligniperda 112 260.
Xylaria 111.
Zea 172 197 217 220 224 286 303 330, s. auch Mais.
Zechenabflußwässer 326.
Zinksalze als Gifte 323.
Zinkvitriol als Gifte 323.
Ziegelöfen 313.
Zersetzungserscheinungen 102; Z. des Holzes 106.
Zitterpappel 99.
Zopftrocknis 268.
Zuckerrübe 217, s. auch Beta und Rübe.
Zweigbildung 28.
Zweige, Ersatz der 91.
Zweigverstümmelungen 124.
Zweigspitzen, Abfrieren der 202.
Zweigwucherungen 94.
Zwerge 119 271.
Zwiebel 191.

Druckfehler.

Seite 112 Zeile 11 von oben lies Myromyceten statt Mycomyceten.
Seite 260 Zeile 17 von unten lies **ligniperda** statt **liquiperda**.

Breslau, Eduard Trewendt's Buchdruckerei (Setzerinnenschule).

